

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Fátima Maria Gomes Jardim

**Proposta de Intervenção  
de Reabilitação Energética  
de Edifícios de Habitação**

Tese de Mestrado em Engenharia Civil  
Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da  
Construção

Trabalho efectuado sob a orientação da  
**Professora**  
**Maria Manuela de Oliveira Guedes de Almeida**

Dezembro de 2009

## **Agradecimentos**

Sendo este um trabalho individual, pela sua natureza e finalidade académica existem, no entanto, contributos de natureza diversa que não podem, nem devem deixar de ser referidos. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Professora Manuela Almeida pela disponibilidade que demonstrou desde o contacto inicial, por ter sido sempre receptiva e por toda a contribuição que deu ao longo da pesquisa.

Ao Eng.º Vitor Gil, da ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção, agradeço por ter fornecido as folhas de cálculo Excel para verificação do RCCTE, e a colaboração nas dificuldades sentidas ao longo do processo.

Agradeço, ao Eng.º Pedro Silva pela disponibilidade, esclarecimento de dúvidas e companheirismo demonstrado.

Ao Eng.º e colega, Rui Cunha pela disponibilidade e respostas “à velocidade da luz”, sempre acompanhadas de comentários estimulantes e sensatos.

Ao Prof. Dr. Rui Pimenta e Dra. Ana Paula Nascimento pelo contributo decisivo na elaboração do modelo de análise económica da presente dissertação.

Aos colegas do Mestrado pela excelente relação pessoal que criámos e que espero que não se perca. Em especial a Ana Azevedo, Joana Pereira e Jair Caramelo, pelas inúmeras questões colocadas e discutidas, pelo apoio nos momentos bons e menos bons, e pela sua amizade.

Agradeço aos meus Amigos, que foram companhia, apoio e amizade durante esta trajectória. Gostaria aqui de citar os nomes de algumas pessoas que foram presença marcante neste período: Sandra Nascimento, Silvia Pereira, Fernanda Pinto e Manuel Teles.

Aos meus pais, pela compreensão e ternura sempre manifestadas apesar do “débito” de atenção; pela paciência e grande amizade com que sempre me ouviram, e sensatez com que sempre me ajudaram.

Ao Sr. Artur e à Sra. Cremilda pelo estímulo e apoio incondicional desde a primeira hora, por simplesmente acreditarem em mim.

Por último (mas sempre o primeiro), ao Artur, pelas inúmeras trocas de impressões e comentários ao trabalho. Acima de tudo, pelo inestimável apoio que preencheu as diversas falhas que fui tendo por força das circunstâncias, e pela paciência e compreensão reveladas ao longo destes meses.



## **Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação**

### **Resumo**

O desperdício energético constitui um dos factores de maior impacto sobre o desequilíbrio ambiental enfrentado pelo planeta. Actualmente, em Portugal o sector de edifícios consome aproximadamente 31% da energia final utilizada no país, situando-se como o sector mais importante, logo a seguir ao dos transportes. Deste valor o sector residencial é responsável por cerca de 18% do consumo, contribuindo significativamente para a emissão de gases com efeito de estufa. O consumo de energia depende de muitas variáveis, contudo pode-se afirmar que a componente principal resulta do uso quotidiano do edifício. No geral, o consumo provém de duas condições: uso intensivo de instalações (aquecimento e arrefecimento, iluminação, equipamentos, etc.) e um comportamento extremamente dissipativo do edifício (edifícios sem isolamento térmico e ou sem inércia térmica).

O parque habitacional português supera actualmente os 5,5 milhões de alojamentos familiares clássicos, pelo que o potencial de poupança neste sector é muito significativo. O presente trabalho consistiu no estudo da reabilitação energética de edifícios existentes pela redução do consumo energético, através de medidas de reforço térmico na envolvente. Com efeito apesar de não existir qualquer obrigatoriedade dos proprietários procederem à realização de obras, tendo em vista a melhoria do desempenho energético, esta dissertação demonstra que existem vantagens objectivas que podem tornar essa decisão bastante favorável. Um dos argumentos mais decisivos será a evidência de que o investimento inicial é recuperado num período de tempo relativamente curto, considerando o tempo de vida útil dos edifícios.

Para compreender a importância da reabilitação energética recorreu-se a dois casos de estudo representativos da construção corrente, para habitação, praticada em Portugal nas últimas décadas. A metodologia desenvolvida atende aos trabalhos de caracterização do desempenho energético do existente e o diagnóstico preciso das deficiências apresentadas, propondo soluções de reabilitação térmica e energética, percebendo se as mesmas reduzem o consumo de energia ao ponto de se tornarem económica e ambientalmente sustentáveis. Adoptou-se a metodologia simplificada usada no actual RCCTE. Foram consideradas variações de reforço e de espessura de isolamento para efectuar as simulações às fracções consideradas mais exigentes. Dessa forma, é possível investigar a interdependência de vários parâmetros e estabelecer análises comparativas. Os resultados mostraram que, através da aplicação de medidas de reabilitação, pode-se conseguir poupanças assinaláveis de energia consumida para aquecimento. O estudo sublinha que o investimento em requalificação energética de edifícios deve ser realizado caso a caso, através de um levantamento rigoroso dos consumos energéticos de cada fracção. Finalmente foi desenvolvido um modelo financeiro que possibilita a previsão do tempo de retorno do investimento, juntamente com a análise do rácio benefício/custo para perceber a rentabilidade do investimento face à poupança total do consumo de energia.

**Palavras-Chave:** Eficiência Energética, Reabilitação, Térmica, Sustentabilidade





## **Proposal for Rehabilitation Building Energy Housing**

### **Abstract**

The waste of energy is one of the factors of greatest impact on the environmental imbalance that the planet is facing. Currently, in Portugal the buildings' sector consumes approximately 31% of the final energy used in the country, standing as the most important sector, immediately after transportation. Of this amount the household is responsible for about 18% of the consumption, contributing significantly to the emission of greenhouse gases. The energy consumption depends on many variables, but we can say that the principal component results from the everyday use of the buildings. Overall, the consumption comes from two conditions: intensive installations (heating and cooling, lighting, equipment, etc.) and an extremely dissipative behavior of the buildings (buildings without insulation or without thermal inertia).

The housing Portuguese currently outstrips the 5.5 million dwellings, so the potential savings in this sector is very significant. This work was the study of energy rehabilitation of existing buildings by reducing energy consumption through measures to enhance the thermal environment. In fact although there is no requirement for owners to carry out works, with a view to improving the energy performance, this work demonstrates that there are objective advantages that can make that decision quite favorable. One of the arguments will be the most decisive evidence that the initial investment is recovered over a relatively short time, considering the lifespan of buildings.

To understand the importance of rehabilitation energy two case studies were used as representative of current construction, housing, practiced in Portugal in recent decades. The methodology addresses the work of characterization of the energy performance of existing and accurate diagnosis of the deficiencies presented by proposing solutions for thermal rehabilitation and energy, knowing if they reduce energy consumption to the point of becoming economically and environmentally sustainable. Adopted the methodology used in the current simplified RCCTE. We considered variations of reinforcement and insulation thickness to perform simulations at fractions considered more demanding. Thus, it is possible to investigate the interdependence of various parameters and establish benchmarks. The results showed that through the implementation of rehabilitation measures, we can achieve remarkable savings of energy consumed for heating. The study notes that investment in upgrading energy efficiency building should be done case by case basis, through a rigorous assessment of energy consumption of each fraction. Finally we developed a financial model that provides the weather forecast for return on investment, along with analysis of the benefit cost ratio to realize the return on investment compared to the total savings in energy consumption.

**Keywords:** Efficiency, Rehabilitation, Thermal, Sustainability



## **ÍNDICE**

Agradecimentos **iii**

Resumo **v**

Índice **ix**

### **Capítulo 1**

#### **INTRODUÇÃO**

1.1 Enquadramento **3**

1.2 Objectivos **5**

1.3 Estrutura **6**

### **Capítulo 2**

#### **SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

2.1 Desenvolvimento Sustentável **9**

2.1.1 Construção de conceitos: o paradigma do Desenvolvimento Sustentável **9**

2.1.2 Alterações Climáticas **11**

2.1.3 Sustentabilidade em Portugal **12**

2.2 Sustentabilidade e Edificado **14**

2.2.1 Impactes Ambientais dos Edifícios **14**

2.2.2 Princípios de Sustentabilidade para os Edifícios de Habitação **15**

2.3 Eficiência Energética no sector residencial **17**

2.3.1 Perfil de utilização de Energia **18**

2.3.2 Factores associados aos edifícios **20**

2.3.2.1 Implantação **20**

2.3.2.2 Forma e Orientação **21**

2.3.2.3 Movimentos do Ar, Vento ou Brisa **22**

2.3.3 Factores associados à envolvente térmica dos edifícios **22**

2.3.3.1 Inércia térmica **23**

2.3.3.2 Isolamento Térmico **23**

2.3.3.3 Envidraçados **24**

2.3.3.4 Ventilação **25**

2.3.4 Factores associados aos sistemas e instalações **25**

2.3.4.1 Climatização **26**

2.3.4.2 Águas Quentes Sanitárias **27**

2.3.4.3 Iluminação **28**

2.3.5 Energia Final **29**

2.3.6 Regulamentação em vigor **32**

### **Capítulo 3**

#### **CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL PORTUGUÊS**

3.1 Evolução do parque habitacional: análise quantitativa **39**



5.3.2 Princípio de cálculo para o período de recuperação do investimento	101
<b>Capítulo 6</b>	
<b>CASOS DE ESTUDO – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO</b>	<b>105</b>
<b>6.1 Caso de estudo 1</b>	<b>107</b>
6.1.1 Descrição do caso de estudo 1 – Rua da Chavinha	107
6.1.2 Zonamento climático	109
6.1.3 Caracterização geométrica	109
6.1.4 Caracterização térmica da envolvente	111
<b>6.2 Caso de estudo 2</b>	<b>113</b>
6.2.1 Descrição do caso de estudo 2 – Rua do Professor Bento de Jesus Caraça	113
6.2.2 Zonamento climático	116
6.2.3 Caracterização geométrica	117
6.2.4 Caracterização térmica da envolvente	118
<b>6.3 Diagnóstico Energético</b>	<b>123</b>
6.3.1 Quantificação das trocas energéticas associadas à envolvente térmica	123
6.3.2 Cálculo das necessidades de energia útil para Aquecimento	126
6.3.3 Quantificação do consumo de energia associado aos sistemas e instalações	127
6.3.4 Necessidades energéticas dos casos de estudo e verificação regulamentar	128
6.3.4 Discussão dos resultados actuais dos casos de estudo	129
<b>6.4 Proposta de Requalificação energética</b>	<b>132</b>
6.4.1 Requisitos mínimos e valores de referência de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios	132
6.4.2 Quantificação das trocas energéticas associadas à envolvente térmica	134
6.4.3 Cálculo das necessidades de energia útil para Aquecimento	135
6.4.4 Quantificação do consumo de energia associado aos sistemas	137
6.4.4.1 Soluções de preparação de Águas Quentes Sanitárias	137
6.4.4.2 Elementos Especiais e Iluminação natural	138
6.4.5 Necessidades energéticas dos casos de estudo e verificação regulamentar	140
6.4.6 Discussão dos resultados dos casos de estudo	144
<b>6.5 Análise económica</b>	<b>152</b>
6.5.1 Dados e pressupostos para a análise benefício/ custo	153
6.5.2 Custo da energia ao longo do tempo para aquecimento	155
6.5.3 Análise custo/ benefício	156
6.5.4 Período de recuperação do investimento	157
6.5.5 Discussão dos resultados da análise económica	158
6.5.6 Limitações da análise económica	163
<b>Capítulo 7</b>	
<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	

7.1 Conclusões	167
7.2 Proposta de trabalhos futuros	170
BIBLIOGRAFIA	173
ANEXOS	
Anexo A Desenhos – Plantas, cortes e alçados dos casos de estudo	163
Anexo B Tabelas – Cálculo do RCCTE	171
Anexo C Tabelas – Calumen	219
Anexo D Tabelas – Análise Económica	223

## **ABREVIATURAS E SIGLAS**

AQS – águas quentes sanitárias

CAC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

CNUAD – Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

ENDS – Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

EPS – poliestireno expandido moldado

ESCO – empresas de serviços de energia

ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems

Fpu – factor de conversão entre energia útil e primária

GEE – Gases com Efeito Estufa

IHRU – Instituto de Habitação e Reabilitação Urbana

Lna – local não aquecido

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Na – limite máximo para os valores das necessidades de energia para a preparação das águas quentes sanitárias

Nac - necessidades nominais anuais de energia útil para águas quentes sanitárias

Ni – valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Nic – necessidades nominais de energia útil para aquecimento

NRAU – Novo Regime de Arrendamento Urbano

Nt – valor máximo admissível de energia primária

Ntc – necessidades globais de energia primária

Nv – valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

Nvc – necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

PIB – Produto Interno Bruto

PIENDS – Plano de Implementação da Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

PNAEE – Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

PQ – Protocolo de Quioto

PUR – espuma rígida de poliuretano

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RPE – revestimento plástico espesso

Rph – renovações por hora

Rse – resistência térmica superficial interior

Rsi – resistência térmica superficial exterior

U – coeficiente de transmissão térmica

XPS - poliestireno expandido extrudido



## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

Figura 1 e		
Figura 2	Consequências das Alterações Climáticas	11
Figura 3	Cadeia do uso da Energia	19
Figura 4	Produção doméstica, importação e consumo de energia primária	29

### Capítulo 3

Figura 5	Síntese aproximada da evolução das paredes em Portugal.	48
Figura 6	Causas das anomalias em edifícios	52
Figura 7	Certificação energética de edifícios existentes	55

### Capítulo 4

Figura 8 e	Esquema de revestimento Independente descontínuo	
Figura 9	com interposição de um isolante térmico na caixa de ar	65
Figura 10	Tipo de revestimentos pré-fabricados com isolante	66
Figura 11	Esquema de componentes pré-fabricados fixados directamente no suporte	66
Figura 12	Sistema de isolamento térmico exterior	67
Figura 13	Composição do sistema de isolamento exterior	67
Figura 14	Aplicação de um material mais resistente na base do edifício	68
Figura 15	Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso	68
Figura 16	Sistema de isolamento térmico por revestimento delgado	68
Figura 17	Reabilitação pelo lado interior contra-fachada (alvenaria)	69
Figura 18	Reabilitação pelo lado interior (gesso cartonado)	69
Figura 19	Reabilitação pelo lado interior (painéis isolantes prefabricados)	69
Figura 20	Pavimento sobre espaço exterior – isolamento térmico inferior	71
Figura 21	Esquema – isolamento térmico inferior em pavimento sobre espaço exterior	71
Figura 22	Reabilitação de Pavimento Isolamento térmico intermédio	72
Figura 23	Esquema – isolamento térmico intermédio	72
Figura 24	Esquema – isolamento térmico face superior	72
Figura 25	Esquema – isolamento térmico na esteira do tecto	73
Figura 26	Esquemas – isolamento térmico ao longo das vertentes	73
Figura 27	Esquema – reforço isolamento térmico inferior – cobertura plana	74
Figura 28	Esquema – reforço isolamento térmico superior – cobertura plana	74
Figura 29	Duplicação da caixilharia com inclusão de sombreamento	76
Figura 30	Pormenor de caixilharia como solução para substituição	76
Figura 31	Caixilharias de alto desempenho térmico “Eco-Eficientes” com acumuladores de calor	77
Figura 32	Reabilitação dos bairros Hortaleza – Madrid.Reorientação das janelas a sul.	77
Figura 33	Película Solar – rejeita a energia solar de 35% a 79%	78

Figura 34	Vidro de baixo emissivo – Reabilitação e ampliação do Aeroporto Santos Dumont, Brasil	78
Figura 35	Sistema de sombreamento, lâminas de estores orientáveis, possibilidade de regular a luz interior sem oclusão total	78
Figura 36	Lâminas orientáveis aplicadas pelo exterior	78
<b>Capítulo 5</b>		
Figura 37	Esquema geral da metodologia adoptada	94
<b>Capítulo 6</b>		
Figura 38	Identificação das fracções. Caso de Estudo 1	109
Figura 39	Planta de implantação. Caso de Estudo 1	109
Figura 40	Vista Sudeste do edifício – fachada principal. Caso de Estudo 1	110
Figura 41	Vista Noroeste do edifício. Caso de Estudo 1	110
Figura 42	Caracterização geométrica do edifício.	112
Figura 43	Pormenor da parede exterior	113
Figura 44	Pormenor da caixa de estore	114
Figura 45	Pormenor do pavimento interior	112
Figura 46	Pormenor do pavimento interior	115
Figura 47	Vão envidraçado	115
Figura 48	Identificação das fracções	116
Figura 49	Planta de Implantação	116
Figura 50	Vista Este do edifício – fachada principal	117
Figura 51	Vista Oeste do edifício	117
Figura 52	Caracterização geométrica do edifício	119
Figura 53	Pormenor da parede exterior	119
Figura 54	Pormenor da caixa de estore	121
Figura 55	Pormenor de pilar inserido e zona corrente	121
Figura 56	Pormenor de pavimento exterior	122
Figura 57	Pormenor de parede de separação	122
Figura 58	Pormenor de parede de separação	123
Figura 59	Pormenor de pavimento interior	123
Figura 60	Pormenor de pavimento interior	124
Figura 61	Pormenor de pilar inserido em parede de separação com Ina	124
Figura 62	Pormenor de viga inserida em parede de separação com Ina	124
Figura 63	Vão envidraçado	125
Figura 64	Índices comparativos das perdas térmicas parcelares	127
Figura 65	Índices comparativos das perdas térmicas face as necessidades aquecimento	129
Figura 66	Necessidades de energia para aquecimento	129
Figura 67	Verificação Regulamentar	130

Figura 68	Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nic) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	131
Figura 69	Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nic) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	132
Figura 70	Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nic) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	132
Figura 71	Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nic) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	133
Figura 72	Necessidades de Energia Útil de Arrefecimento (Nvc) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	133
Figura 73	Necessidades de Energia Útil de AQS (Nac) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	133
Figura 74	Necessidades de Energia Primária (Ntc) [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	133
Figura 75	Índices comparativos do consumo de energia para Aquecimento	139
Figura 76	Corte longitudinal do edifício dos anos 80 – caso de estudo 2	141
Figura 77	Sistema de ganho isolado	142
Figura 78	Necessidades nominais de Energia Primária N1	145
Figura 79	Classificação Energética N1	145
Figura 80	Necessidades nominais de Energia Primária N2	145
Figura 81	Classificação Energética N2	145
Figura 82	Necessidades nominais de Energia Primária N3	145
Figura 83	Classificação Energética N3	145
Figura 84	Necessidades nominais de Energia Primária N4	145
Figura 85	Classificação Energética N4	145
Figura 86	Resultados da melhoria térmica da zona corrente exterior face ao existente	146
Figura 87	Resultados da melhoria térmica da zona corrente interior face ao existente [kWh/ano]	147
Figura 88	Resultados da melhoria térmica dos vãos envidraçados face ao existente [kWh/ano]	148
Figura 89	Resultados da melhoria térmica através do controlo das entradas de ar face ao existente [kWh/ano]	149
Figura 90	Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/ano]	150
Figura 91	Redução de consumo de energia zona corrente exterior / Necessidades de Aquecimento [kWh/ano]	150
Figura 92	Redução de consumo de energia dos vãos envidraçados / Necessidades de Aquecimento [kWh/ano]	151
Figura 93	Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	151
Figura 94	Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	152
Figura 95	Redução de Necessidades de Arrefecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	153
Figura 96	Redução de Necessidades de preparação de AQS para os três níveis de qualidade [kWh/m <sup>2</sup> .ano]	153
Figura 97	Redução de Necessidades de Energia Primária para os três níveis de qualidade [kgep/m <sup>2</sup> .ano]	155
Figura 98	Evolução do custo de energia eléctrica para um consumidor doméstico	156

Figura 99	Rácio benefício/custo das distintas soluções apresentadas.	161
Figura 100	Período de retorno do investimento para a envolvente opaca sobre as distintas soluções apresentadas.	162
Figura 101	Período de retorno do investimento para os vãos envidraçados sobre as distintas soluções apresentadas.	162
Figura 102	Período de retorno do investimento inicial das distintas soluções apresentadas.	163

Todas as figuras são da autoria de Fátima Jardim excepto:

Figuras 1 e 2 – fotos de Gary Braasch, disponível em: <http://www.worldviewofglobalwarming.org/>

Figura 4 Disponível em: <http://www.dgge.pt/>

Figura 5 In: SOUSA, Hipólito – *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação na geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida*. Porto, [s.n.], 1996.

Figura 29 JEE: *Janela Eco-Eficiente* Caixilharias de alto desempenho térmico “Eco-Eficientes” com acumuladores de calor – Miguel Veríssimo, Manuela Guedes de Almeida e Luís Bragança.

Imagem disponível em: <http://cosimoderondo.blogspot.com>

Figura 30 In *Criterios de Sostenibilidad para la rehabilitación privada de viviendas en los barrios periféricos de Madrid* – M. de Lúxan [et alt.] Disponível em: <http://www.ietcc.csic.es>

Figura 33 Disponível em: <http://www.mc-estores.com>

Figura 34 Disponível em: <http://www.estores.pt>

## ÍNDICE DE QUADROS

### Capítulo 2

Quadro 1	Consumo de energia final por fonte, 1990 – 2007	31
Quadro 2	Evolução do consumo de energia final em Portugal no sector residencial	32

### Capítulo 3

Quadro 3	Taxa de crescimento das famílias e dos alojamentos em Portugal	41
Quadro 4	Número de alojamentos por agregado familiar, 2001	42
Quadro 5	Evolução do número de alojamento no Continente, 2001	42
Quadro 6	Índice de envelhecimento dos alojamentos no Continente, 2001	45
Quadro 7	Alojamentos clássicos, segundo a forma de ocupação, por época de construção do edifício	46
Quadro 8	Alojamentos clássicos, ocupados como residência habitual, por época de construção do edifício	47
Quadro 9	Edifícios, segundo a época de construção, por tipo de estrutura	49

### Capítulo 6

Quadro 10	Valores de referência e máximos do coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]	134
Quadro 11	Valores de referência e máximos dos factores solares de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem	134
Quadro 12	Valores do coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ano$ ] Caso de estudo 1 – Edifício anos 40	135
Quadro 13	Valores do coeficiente de transmissão térmica [ $W/m^2 \cdot ano$ ] Caso de estudo 2– edifício anos 80	136
Quadro 14	Custo de aplicação das diversas soluções	156

**Obs.** Para uma sistematização clara e em resultado da metodologia adoptada para a elaboração desta dissertação optámos por estabelecer os seguintes parâmetros de classificação para os quadros e tabelas aqui apresentados. O termo **quadro** é utilizado para designar a constatação de dados, tendo por base as fontes citadas em cada um deles, cujos dados nos apropriámos e agrupámos de forma a ilustrar o discurso. O termo **tabela** corresponde à exposição e tratamento de dados resultantes da nossa investigação.

## ÍNDICE DE TABELAS

### Capítulo 6

Tabela 1	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior	113
Tabela 2	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore	114
Tabela 3	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior para local não aquecido	114
Tabela 4	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior para local não aquecido - cobertura	115
Tabela 5	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado	115
Tabela 6	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior	120
Tabela 7	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore	121
Tabela 8	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pilar/ viga	121
Tabela 9	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior	122
Tabela 10	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede de separação escadas e edifício adjacente	122
Tabela 11	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede da caixa de elevador	123
Tabela 12	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior	123
Tabela 13	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior laje de tecto	124
Tabela 14	Cálculo do coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas planas de pilar e viga inseridos na parede de separação lna	124
Tabela 15	Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado	125
Tabela 16	Contabilização das Perdas Térmicas Globais e respectivas perdas parcelares	126
Tabela 17	Perdas através da envolvente opaca	126
Tabela 18	Perdas através das pontes térmicas	126
Tabela 19	Perdas através dos envidraçados	126
Tabela 20	Perdas através da ventilação	127
Tabela 21	Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento (kW/ano)	128
Tabela 22	Cálculo das necessidades de energia para preparação de AQS	129
Tabela 23	Cálculo do Indicador do Nic	130
Tabela 24	Cálculo do Indicador do Nvc	130
Tabela 25	Cálculo do Indicador do Nac	130
Tabela 26	Cálculo do Indicador do Ntc	131
Tabela 27	Contabilização das perdas pela zona corrente exterior proposto [kWh/ano]	137
Tabela 28	Contabilização das perdas pela zona corrente interior proposto [kWh/ano]	137
Tabela 29	Contabilização das perdas pelos envidraçados propostos [kWh/ano]	137
Tabela 30	Solução N1 - Contabilização das necessidades de energia útil para aquecimento [kWh/ano]	137

Tabela 31	Solução N2 - Contabilização das necessidades de energia útil para aquecimento [kWh/ano]	138
Tabela 32	Solução N3 - Contabilização das necessidades de energia útil para aquecimento [kWh/ano]	138
Tabela 33	Solução N4 - Contabilização das necessidades de energia útil para aquecimento [kWh/ano]	138
Tabela 34	Cálculo das necessidades energéticas para AQS N1	140
Tabela 35	Cálculo das necessidades energéticas para AQS N2	140
Tabela 36	Cálculo das necessidades energéticas para AQS N3	140
Tabela 37	Cálculo do Indicador do Nic - N1	143
Tabela 38	Cálculo do Indicador do Nic - N2	143
Tabela 39	Cálculo do Indicador do Nic - N3	143
Tabela 40	Cálculo do Indicador do Nic - N4	143
Tabela 41	Cálculo do Indicador do Nvc – N1	143
Tabela 42	Cálculo do Indicador do Nvc N2	143
Tabela 43	Cálculo do Indicador do Nvc N3	143
Tabela 44	Cálculo do Indicador do Nvc N4	144
Tabela 45	Cálculo do Indicador do Nac N1	144
Tabela 46	Cálculo do Indicador do Nac N2	144
Tabela 47	Cálculo do Indicador do Nac N3	144
Tabela 48	Cálculo do Indicador do Nic - N1 e N2 (fracção D _ anos 40   fracção I _ anos 80)	152
Tabela 49	Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a envolvente opaca	156
Tabela 50	Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a área envidraçada	157
Tabela 51	Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a envolvente opaca e área envidraçada	157
Tabela 52	Proiecção do custo de energia eléctrica tarifa simples - horizonte temporal = 8 anos	158
Tabela 53	Coefficiente de actualização do total do custo total de energia – horizonte temporal = 8 anos	158
Tabela 54	Rácio Benefício/Custo das distintas soluções apresentadas	159
Tabela 55	Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico na envolvente opaca	159
Tabela 56	Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico dos envidraçados	160
Tabela 57	Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico da envolvente opaca e envidraçados	160



Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim



## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Este capítulo refere-se ao enquadramento do tema da pesquisa, expondo o panorama a partir do qual o assunto do estudo foi originado (ponto 1.1). São também apresentados os objectivos do trabalho (ponto 1.2) e a estrutura orientadora do mesmo (ponto 1.3).

#### **1.1 ENQUADRAMENTO**

O tema “uso racional da energia” surgiu no período posterior à primeira crise internacional do petróleo, em 1973. O aumento significativo do custo da energia, acrescido da constatação de que as suas fontes são limitadas e do impacto ambiental relativo à sua utilização, fomentaram iniciativas, medidas e pesquisas que estimulassem a eficiência energética. Desde então, muitos países passaram a adoptar medidas legais e regulamentações, com o objectivo de estabelecer certos níveis mínimos de desempenho térmico para os edifícios, que têm sido progressivamente alteradas, de modo a acompanhar a evolução do conhecimento referente ao tema.

Em Portugal, a primeira regulamentação, denominada RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, (Decreto Lei 40/90) entrou em vigor no início de 1991. A intenção principal desse regulamento foi a de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, que eram, em geral, insatisfatórias, encorajando a obtenção desse conforto sem o gasto excessivo de energia.

A assinatura, por parte da União Europeia, do Protocolo de Quioto, obrigou os países membros a definirem medidas de acção que incentivassem a utilização racional dos recursos energéticos de forma a reduzir a emissão dos gases de dióxido de carbono para a atmosfera. O sector residencial, é foco de grande atenção, por ser o responsável por mais de 40% do consumo final de energia da UE. Dentro desse contexto surgiu a Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios, que estabeleceu uma série de requisitos com o objectivo de promover a melhoria do desempenho energético e dessa forma atender aos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

De forma resumida, as principais exigências da Directiva referem-se à adopção de uma metodologia integrada de cálculo do desempenho energético dos edifícios, estabelecendo requisitos mínimos para o projecto de novos edifícios, mas também para os edifícios existentes, sujeitos a grandes obras de renovação e à obrigatoriedade de implementação da certificação energética.

A Directiva determinava que todos os países membros deveriam implementar as exigências, nas suas regulamentações nacionais, até Janeiro de 2006. Neste contexto, surge a revisão do Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (Decreto Lei nº 80/2006), definindo as condições de conforto térmico e de higiene, de forma a melhorar a

eficiência global dos edifícios, não só nos consumos para a climatização, mas em todos os consumos de energia, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis. Nessa sequência seria legalmente definida a certificação energética dos edifícios (*Decreto Lei 78/2006*), conforme o estabelecido na Directiva.

A aplicação dessa Directiva teve diversas consequências práticas nomeadamente, uma que interessou particularmente e que impulsionou a condução desta pesquisa: a melhoria do comportamento térmico e energético dos edifícios, valendo-se de medidas passivas. A prescrição de restrições mais severas para o isolamento da envolvente dos edifícios assume-se como o ponto-chave para a redução dos consumos de energia, promovendo a melhoria das condições ambientais e de conforto nos espaços interiores.

Os benefícios de se aumentar o isolamento são evidentes para minimizar as trocas de calor com o exterior, e reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento, pois quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica, menores serão as perdas pela envolvente, promovendo igualmente a promoção das poupanças energéticas. Com as novas exigências regulamentares, este é o momento propício e necessário para a avaliação do impacto que envolventes mal isoladas de edifícios existentes, no parque habitacional, terão no desempenho energético e a sua posterior correcção.

Tradicionalmente, nas construções habitacionais até ao final da década de 80, eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientais interiores. Contudo na última década, acentuou-se significativamente a tendência de crescimento da procura de sistemas de climatização do país, justificado pela melhoria do nível de vida da população, e de um maior grau de exigência de conforto, mas também como consequência da elevada taxa de crescimento do parque construído. Desta evolução, resultou para os edifícios a mais elevada taxa de crescimento de consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional. Por outro lado, o estado em que se encontra uma parte significativa dos edifícios construídos (com valor muito diversificado enquanto património arquitectónico) obriga a intervenções urgentes e profundas, a desenvolver nos próximos anos, para lá da simples “cosmética” de fachada. É portanto, lógico esperar que o investimento no sector da construção nos próximos anos se dirija, preferencialmente, para a reabilitação das construções existentes, em detrimento da nova construção, constituindo um eixo de acção determinante para a correcção de situações de inadequação funcional e energética, existente na maioria dos edifícios construídos em Portugal.

Em consequência da constatação do panorama surgiu este trabalho, no qual se tenciona investigar as possibilidades de reabilitação energética de edifícios existentes. Procura-se avaliar o nível de eficiência energética em que se encontra o edifício, colocando três questões fundamentais: onde, como e porque se consome a energia. É com vista a obter respostas a estas

questões que se verifica a necessidade de desenvolver esforços no âmbito de diagnósticos energéticos, equacionando as possíveis soluções de reabilitação térmica e energética.

Para avaliar o nível de eficiência energética do edifício, foi aplicada a metodologia de cálculo seguida pelo Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios, que compreende os parâmetros e índices de caracterização. Estes permitem a comparação entre o desempenho térmico e o consumo de energia anual para casos de um mesmo edifício com diferentes níveis de qualidade.

São considerados dois edifícios distintos, desde o ponto de vista construtivo, local de implantação e de orientação, conjugados a variações de parâmetros segundo os níveis de qualidade, estabelecendo como base o total cumprimento do regulamento. Dessa forma, é possível investigar a interdependência entre os vários parâmetros no desempenho térmico e fazer análises comparativas. Como proposta final do trabalho é desenvolvida uma análise económica sobre os níveis de qualidade propostos, cuja intenção é viabilizar propostas de reabilitação apoiadas numa avaliação teórica e prática, que estará na base da tomada de decisão, baseada na teoria da utilidade e na alocação financeira dos recursos disponíveis.

## **1.2 OBJECTIVOS**

São objectivos desta pesquisa:

1. Analisar as principais ameaças ambientais globais associadas ao sector da construção, sob o ponto de vista da sustentabilidade e eficiência energética.
2. Conhecer princípios da sustentabilidade aplicados às edificações. Reflectir sobre a gestão e eficiência energética no ambiente construído.
3. Analisar de modo sistémico o contexto do ambiente construído e de que forma a reabilitação pode ser vista como a melhor via para o desenvolvimento sustentável. Demonstrar como a aposta na reabilitação dos edifícios (no que diz respeito aos requisitos de eficiência energética) pode ser entendida para além de um benefício individual, com vista a superar a escala do colectivo e abranger uma dimensão global.
4. Identificar directrizes de projecto para a reabilitação energética das edificações.
5. Analisar as barreiras e dificuldades que se apresentam na reabilitação energética de edifícios, em todas as vertentes, sociais, económicas e técnicas.
6. Avaliar e analisar o desempenho térmico e energético de dois casos de estudo de características distintas, em especial o comportamento no período de aquecimento.

7. Apresentar e verificar as hipóteses de reabilitação energética para os casos de estudo, quantificando as necessidades nominais de energia útil segundo os níveis de qualidade propostos.

8. Propor um modelo simplificado de análise económica das medidas de melhoria da eficiência e comportamento energético, a fim de auxiliar a escolha ponto da vista da utilidade, custo e benefício.

### **1.3 ESTRUTURA**

O primeiro capítulo desta dissertação, expõe a motivação e o respectivo enquadramento, apresentando de uma forma breve o novo paradigma energético e o papel que nele desempenha o sector da construção – em particular os edifícios de habitação –; assim como a referência aos objectivos e organização do trabalho proposto.

No segundo capítulo, propõe-se uma revisão histórica geral do conceito de Desenvolvimento Sustentável, aborda-se a problemática ambiental gerada pela construção, analisando as principais consequências, referindo alguns parâmetros de sustentabilidade sobre os quais o sector da construção exerce impactos directos. Relaciona-se este tema geral com a eficiência energética no sector da habitação, no qual é feita a análise do consumo de energia útil e final, confrontada com os factores que condicionam o seu desempenho, focando a legislação vigente a nível nacional.

No capítulo 3 caracteriza-se o parque habitacional português para detectar as carências qualitativas e as condições de habitabilidade, colocando em evidência as potencialidades energéticas ambientais da reabilitação. É feita uma análise da evolução construtiva em Portugal com vista à compreensão da origem e significado das formas construídas, constituindo-se a base teórica para a análise preliminar dos casos de estudo.

Uma vez apresentadas as características do construído, abordam-se e sistematizam-se, em termos genéricos, no capítulo 4, as principais medidas de reabilitação energética passíveis de serem adoptadas na envolvente de edifícios existentes, identificando as barreiras e dificuldades para a sua implementação, assim como os programas e incentivos existentes.

Seguidamente, no capítulo 5, apresenta-se a justificativa e a descrição detalhada da metodologia desenvolvida para atender aos objectivos da pesquisa, a qual consiste em avaliar o comportamento térmico e energético das soluções construtivas originais e intervencionadas, através do método de cálculo aplicável pelo RCCTE, (Anexo I a VI) e a forma como este define e avalia a contribuição dos diversos consumos.

O capítulo 6 descreve e caracteriza os casos de estudo, seguido do cálculo das necessidades energéticas dos edifícios existentes, são mostrados e discutidos os resultados

obtidos. Após esta avaliação, serão estudadas as soluções de reabilitação térmica adaptadas, onde serão definidos os níveis de qualidade nos edifícios para o total cumprimento do regulamento. No ponto seguinte realiza-se uma análise económica para a selecção do nível de qualidade, segundo a relação benefício /custo e período de retorno do investimento.

As conclusões são apresentadas no capítulo 7, resultado da análise e discussão dos dados decorrentes dos casos de estudo e todas as etapas anteriores apresentadas. Além disso, procura indicar as limitações do trabalho e apresentar sugestões de trabalhos futuros.





Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

## CAPÍTULO 2

### SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

As últimas décadas têm revelado uma transformação do pensamento sobre os rumos do desenvolvimento do planeta. A noção de Sustentabilidade Ambiental vem afirmar a importância de um desenvolvimento planetário com capacidade de se sustentar sem atingir pontos de ruptura. O desenvolvimento tecnológico, por mais evoluído que esteja não permite a nenhuma civilização sobreviver ao colapso dos seus sistemas de suporte ambiental. Está-se hoje perante a presença de um novo mundo em que as colisões entre as nossas necessidades e a capacidade de o planeta as satisfazer, estão a tornar-se cada vez mais perto do declínio (BROWN, 2006).

Longe de se aprofundar uma discussão sobre a história do conceito de Desenvolvimento Sustentável, este capítulo pretende discorrer brevemente sobre a evolução do conceito e sobre a necessidade de mudanças nos padrões de consumo energético e de recursos naturais do meio edificado. A necessidade de alterar o modo de vida das populações é evidente face à problemática do aquecimento global, e das alterações climáticas, determinadas pelo modo e intensidade dos usos de energia.

A explicação destes conceitos é imprescindível, para a contextualização do tema de estudo – Reabilitação Energética de Edifícios Habitacionais – entendida como uma das linhas de força mais significativas para a Sustentabilidade Ambiental, uma vez que, a Reabilitação Energética visa a melhoria do comportamento energético dos edifícios e a qualidade de vida dos seus habitantes, da mesma forma que protege o meio ambiente e aproveita racionalmente os recursos naturais.

#### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

##### 2.1.1 Construção de conceitos: o paradigma do Desenvolvimento Sustentável

A evolução conceptual do termo “ Desenvolvimento Sustentável”, tão enraizado no discurso especialista actual, tem uma das suas raízes mais imediatas, e provavelmente mais contundentes, na ampla discussão do tema promovida pelos inúmeros encontros científicos de âmbito mundial, que lentamente vão conformando as bases de este novo paradigma.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável tem a sua origem nos anos 70 do século XX, gerado a partir da tomada de consciência sobre os limites de recursos naturais disponíveis e a capacidade de carga do ambiente natural para suportar o crescimento populacional, o aumento de consumo de bens e alimentos e a deposição de resíduos. Todos estes factores são causados única e exclusivamente pela acção do homem sobre o ambiente em que vive, e podendo-se perceber as diversas reacções do planeta a estas intervenções.

Durante vários anos palavras como *ecologia* ou *meio ambiente* estavam presentes em todos os congressos de âmbito mundial. Será contudo no Relatório de Brundtland (1987), sob o título



de “Nosso Futuro Comum”, documento que será reconhecido e implementado, a nível mundial, que o termo de Desenvolvimento Sustentável surge definido: “desenvolvimento que dê resposta às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras darem resposta às delas” (BRUNTLAND, 1987). A importância deste documento recai na incorporação do compromisso global que o desenvolvimento sustentável implica, na forte mensagem de dependência que o homem construiu com a natureza e sobre o esgotamento dos recursos naturais.

A consolidação mais significativa (e a sua consequente divulgação) do conceito de sustentabilidade surge no Rio de Janeiro, em 1992, associada à “Conferencia das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento” (CNUAD – Conferência do Rio, Rio de Janeiro - Brasil). Esta conferência estende o conceito de sustentabilidade para além das preocupações ambientais no controlo da poluição, e foca os primeiros objectivos para a sua prevenção. Este relatório procurou dar importância simultânea às dimensões humanas, ecológicas e económicas na procura de uma sustentabilidade global. Desta Conferência foram adoptados vários instrumentos, que progressivamente introduziram medidas preventivas para a protecção do ambiente nomeadamente a Agenda 21, a Declaração do Rio sobre Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios sobre o uso das Florestas e a Convenção Quadro sobre as Alterações Climáticas (CNUAD, 1992).

Após a Cimeira da Terra têm sido realizadas diversas reuniões no âmbito internacional, nacional, regional, municipal que, pelo volume de informação, seria impossível analisar neste capítulo, contudo seria pertinente referir a sua importância enquanto contributo para a difusão global do tema, na sua verdadeira definição no contexto específico de cada localidade, para garantir a sua aplicabilidade localmente, caso a caso, e não impostas desde uma realidade mais universal e pouco objectiva.

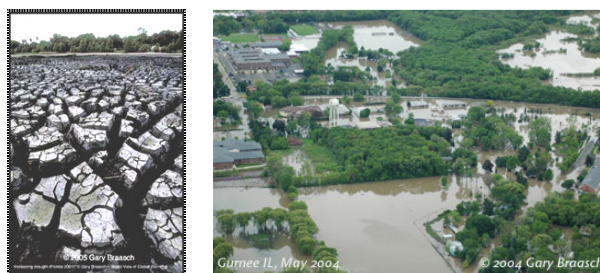
Uma dessas reuniões, com especial relevância para o sector da construção, é a Conferencia das Nações Unidas sobre Assentamentos Humanos – “Habitat II” em Istambul, Junho de 1996, uma vez que se procedeu à discussão sobre a habitação adequada para todos e a sustentabilidade dos assentamentos humanos, (UN, 1996), contendo diversas secções dedicadas ao sector da construção civil e à forma como os governos nacionais deveriam estimular a indústria no sentido da sustentabilidade.

As tentativas para alcançar um consenso, no sentido do Desenvolvimento Sustentável, não estabilizariam nos anos seguintes. Exemplos disto constituem entre muitos outros: a Carta de Aalborg (1994) para as cidades sustentáveis, no contexto europeu; os acordos de Quioto (1998), onde as nações mais industrializadas comprometeram-se a reduzir as suas emissões tóxicas numa percentagem determinada para o período de 2008-2012 (destacando a negação dos Estados Unidos perante tal acordo); ou mais recentemente a Cimeira da Terra de 2002, celebrada em Joanesburgo (chamado Rio+10) onde se rectificaram a maioria das pretensões e objectivos

acordados nos 10 anos anteriores, reflectindo sobre os fracos resultados e os avanços reais, que foram muito poucos, condicionados pela dificuldade em conciliar interesses políticos, económicos e tecnológicos associados a pensamentos culturais tão diversos.

### 2.1.2 Alterações Climáticas

Segundo o Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (WCED, 1991), os riscos e as incertezas ambientais, decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro, são inquietantes. Entre os riscos, podem-se destacar as alterações climáticas devido ao efeito estufa causado por gases emitidos na atmosfera, sendo o mais importante, o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis. A concentração de  $\text{CO}_2$  e de outros gases na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta (figura 1). Isto pode fazer com que o nível do mar, nos próximos anos, se eleve ao ponto de inundar muitas cidades costeiras, (figura 2) podendo causar, do mesmo modo enormes transformações na produção agrícola nacional e internacional.



**Figuras 1 e 2** - Consequências das Alterações Climáticas, fotografia de Gary Braasch

As alterações climáticas são uma das principais ameaças para o desenvolvimento sustentável, representam um dos principais desafios ambientais com efeitos sobre a economia global, a saúde e o bem-estar social.

O primeiro acordo internacional sobre as alterações climáticas, o *Protocolo de Quioto*, foi assinado em 1997, só em 2005 foi rectificado pelo número mínimo de países. Este acordo estabeleceu as metas de redução aos gases causadores de efeito estufa. Este acordo, representa o primeiro passo concreto no sentido de evitar o aquecimento global do planeta e reduzir as previsões trágicas que vêm sendo traçadas por causa das alterações climáticas (CONTI, 2005). O acordo exige que os países mais industrializados, os maiores geradores desses gases, restrinjam as suas emissões em 8% até 2012 em relação aos níveis emitidos em 1990, estabelecendo sanções para os não cumpridores. No âmbito do Acordo de Partilha de Responsabilidades da EU ficou estabelecido que Portugal deveria limitar o crescimento das suas emissões em 27% em relação a 1990 (REA, 2008).

O Grupo Intergovernamental das Alterações Climáticas (IPCC), no quarto relatório de avaliação, aprovado em Paris de 2007, determina que o aquecimento global é “inequívoco” e é

atribuído à acção do Homem. A Declaração da Organização Meteorológica Mundial (OMM), organismo especializado sobre o estado e comportamento da atmosfera terrestre, no relatório de 2008 que servirá de base científica para os futuros acordos sobre as alterações climáticas (Copenhaga, Dezembro de 2009), refere que desde o início do século XX a temperatura média da superfície terrestre tem aumentado em 0.74° C, apesar de este incremento não ser contínuo. A tendência linear do aquecimento durante os últimos 50 anos (0,13°C. por década é praticamente o dobro que a dos últimos 100 anos, (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2009).

Estes dados apenas confirmam que todos os problemas globais – desde a destruição da camada de ozono, às alterações climáticas e à perda de biodiversidade – podem ser directamente relacionadas com a actividade humana, em especial com o aumento de população, o consumo de energia e recursos naturais e a tecnologia (HUNTER et al, 1998).

A actividade económica, tal como se conhece hoje, é contrária ao conceito de Desenvolvimento Sustentável. A sociedade de mercado consumista, característica de todos os países industrializados, conta apenas com um quarto da população mundial, mas consome cerca de 60-80% dos combustíveis fósseis e minerais e é responsável, na mesma medida, pelos problemas ambientais resultantes (HUNTER et al, 1998). Existe uma estreita relação entre a intensificação da actividade humana, especialmente no consumo de combustíveis fósseis e a concentração de CO<sub>2</sub> e de outros gases de efeito estufa responsáveis pelas alterações climáticas.

O meio edificado é o principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa por si só, e à escala do planeta, consome quase metade da energia produzida, apenas para se tornar habitável (TIRONE e NUNES, 2008). Os edifícios contribuem para o aquecimento global através de duas principais causas: a primeira diz respeito à perda de superfícies vegetais, devido ao acelerado processo de urbanização nos últimos cinquenta anos, e por outro lado o elevado consumo energético dispendido durante a fase de construção e sobretudo na fase de utilização.

A tomada de consciência da capacidade do planeta comportar as actividades humanas e a resultante procura das soluções para a resolução ou prevenção de problemas ambientais, terão obrigatoriamente de integrar medidas de eficiência energética, pois estas têm um impacto directo nas reduções de emissões de GEE e por conseguinte, sobre as Alterações Climáticas.

### **2.1.3 Sustentabilidade em Portugal**

A adopção nacional de uma lógica de Desenvolvimento Sustentável tem vindo progressivamente a aparecer no contexto político, social e económico, no seguimento de compromissos internacionais assumidos por Portugal, iniciada com a Cimeira da Terra (1992) e confirmado mais recentemente na Cimeira das Nações Unidas de 2005, onde os líderes mundiais

enfatizaram a necessidade de criar políticas e estratégias nacionais para alcançar o desenvolvimento sustentável (ENDS, 2007).

Na sequência da preparação da Cimeira Mundial de Joanesburgo, Portugal elabora através do Instituto do Ambiente, um documento intitulado *Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável*, que serviu de base para o Plano Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, para o período 2005-2015, juntamente com o processo de elaboração de um Plano de Implementação da ENDS, (PIENDS).

A preocupação nas estratégias nacionais, com a sustentabilidade no meio edificado e da construção sustentável, começam a estar progressivamente presentes, em termos conceptuais, nos vários intervenientes, embora se verifique que existe pouco conhecimento em relação à sua aplicação à escala nacional, nomeadamente em relação à sua efectiva implementação e resultados obtidos.

Neste contexto, algumas cidades portuguesas (Lisboa, Porto, Almada, Aveiro, Cascais, Ferreira do Alentejo, Guarda, Moura e Vila Nova de Gaia) aderiram à iniciativa *Pacto dos Autarcas*, lançada pela Comissão Europeia durante a realização da European Union Sustainable Energy Week 2009, na redução das suas emissões de CO<sub>2</sub> através de acções de procura energética eficiente e da promoção de energias renováveis. Trata-se de um documento dirigido a projectos e resultados mensuráveis, comprometendo as cidades aderentes a reduzir as suas emissões em mais de 20% até 2020 e sendo anualmente avaliadas, através de relatórios periódicos, sujeitos ao controlo por parte da Comissão Europeia ou de entidades independentes.

Em Portugal, evidenciam-se vários problemas de sustentabilidade ambiental, dos quais se destacam os seguintes:

- O *Relatório do Estado do Ambiente 2007- Portugal*, (REA, 2008), refere o aumento significativo das emissões nacionais de GEE, foram cerca de 39% acima dos valores de 1990, afastando-se dos 27% da meta estabelecida para o período de 2008-2012 no âmbito do Protocolo de Quioto, pelo que actualmente são necessárias medidas para a redução de emissões. O aumento das emissões de GEE deve-se ao facto do perfil energético do país estar fortemente dependente dos combustíveis fósseis, especialmente na produção de electricidade. Contudo, tem-se verificado alguma melhoria no perfil das emissões, explicado pela introdução do gás natural, considerado um combustível “mais limpo” (REA, 2008, INE, 2009).
- Nos últimos anos, as despesas municipais para a gestão dos resíduos, continuou a absorver a maior parte dos encargos dos Municípios em matéria de protecção ambiental. Por outro lado, o depósito em aterro continua a ser o principal destino dos resíduos urbanos, (INE, 2008).

- Portugal continua a depender energeticamente dos combustíveis fósseis não renováveis, (dependência exterior estimada em cerca de 85% da energia primária), subestimando a eficiência energética associada a energias mais limpas e renováveis, como a solar térmica e a fotovoltaica, que contribuiriam para a redução de emissões e para um modelo energético sustentável, (INE, 2009).

A análise sintética da situação de portuguesa para a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS, 2015) conclui que o crescimento sustentável é determinante para o desenvolvimento sustentável; que para oferecer aos cidadãos uma melhor qualidade de vida é necessária a aposta na resolução dos problemas ambientais; é imperativo o esforço de viabilizar a sustentabilidade entendendo-a como uma oportunidade de crescimento suportado em actividades geradoras de emprego e inovação, (ENDS, 2007).

## **2.2 SUSTENTABILIDADE E EDIFICADO**

### **2.2.1 Impactes Ambientais dos Edifícios**

A história do ser humano demonstrou a capacidade de produzir transformações no meio ambiente de forma a satisfazer as suas necessidades vitais, contribuindo para uma mudança irreversível do mesmo. Este avanço na história do desenvolvimento humano tem permitido a multiplicação descontrolada do consumo *per capita* de energia e de recursos naturais, face às necessidades básicas do ser humano para a sua subsistência.

Segundo o relatório *Previsões Demográficas Mundiais 2007*, a Organização das Nações Unidas (ONU), prevê que a população mundial passe de 2.5 mil milhões de habitantes a 6,7 mil milhões, estimando um crescimento de 9.2 mil milhões de habitantes até 2050. Ao mesmo tempo, prevê um crescimento da população em áreas urbanas, de 3.3 mil milhões em 2007 a 6.4 mil milhões em 2050, (UNITED NATIONS, 2008). Por outro lado, o Produto Interno Bruto mundial (PIB) aumentou, o que permitiu que o mundo pudesse não só manter o crescimento populacional como também permitiu fazê-lo em níveis consideravelmente superiores. Destes dados, pode-se antever que a par desta evolução demográfica e económica, encontra-se associada uma forte urbanização concentrada na sua grande maioria nas cidades, que intensificará a pressão sobre o meio ambiente no que respeita à poluição, o esgotamento de recursos, exclusão social, etc.

Dentro das actividades humanas, o sector da construção é o maior consumidor (juntamente com a indústria associada) de recursos naturais, gerando ao mesmo tempo grandes quantidades de resíduos. Os impactes ambientais dos edifícios reflectem-se ao longo do seu ciclo de vida, desde a concepção à operação e desactivação, ou desconstrução (PINHEIRO, 2006). Na fase de construção os impactes reflectem-se com a alteração do uso do solo, o consumo de matérias-primas, o uso de água e energia, a produção de resíduos e alterações nos ambientes natural e construído.

No entanto, o principal impacto ambiental dos edifícios tem lugar durante a sua operação ou exploração, ao longo dos anos, sobretudo em termos de consumo energético. No meio edificado os impactos mais relevantes dizem respeito ao consumo de água, de energia e de materiais e na produção de resíduos e efluentes.

Em Portugal, a operação dos edifícios, segundo dados do balanço energético nacional, corresponde a 31% do consumo final de energia, sendo 13 % dos edifícios de serviços e os restantes 18 % dos edifícios residenciais (DGEG, 1990-2007).

No que diz respeito à água, do total da distribuição, o sector residencial (as famílias) foi o principal consumidor, utilizando 73,6% da água distribuída. No que se refere à produção de águas residuais as habitações, destacadamente, são os principais geradores de efluentes líquidos (INE, 2009), exigindo tratamento adequado, obrigando a dispor de ETAR's consumindo energia e reagentes.

De uma forma geral, podemos dizer que a forma tradicional de construir pode ser considerada destrutiva do meio – ambiente, esta não considera a saúde dos seus ocupantes, prima pelo benefício imediato e a lógica economicista. Face o exposto, coloca-se cada vez mais premente a procura do caminho sustentável, apostando na redução dos impactes em cada fase do sector da construção, com grande destaque para as soluções a adoptar na fase de operação ou utilização do edifício, pois o longo tempo de vida útil, prolonga os impactes ambientais a uma escala local e global.

### **2.2.2 Princípios de Sustentabilidade para os Edifícios de Habitação**

De entre os factores de degradação do ambiente é importante salientar o papel dos edifícios de habitação face ao aumento crescente dos consumos energéticos e respectivas emissões de gases com efeito de estufa. O meio edificado têm-se assumido como uma área onde as questões ambientais têm estado menos presentes, tendo hoje na redução de CO<sub>2</sub> e no consumo de água potável e energia, uma das áreas chaves para a sustentabilidade ambiental.

Tendo em vista a importância do sector da construção para o desenvolvimento sustentável, foi criado pelo CIB – Conseil International du Bâtiment International, (CIB,1999) a Agenda 21 sobre a Construção Sustentável, específica para o sector da construção. Dos principais aspectos apontados por este documento encontra-se a promoção da eficiência energética, a redução do uso e consumo de água potável, a selecção dos materiais com base no seu desempenho ambiental, a manutenção da qualidade do ambiente construído e a gestão e salubridade do ar interior.

Numa sociedade contemporânea de consumo, de pessoas que passam em média 80 a 90% do seu tempo dentro dos edifícios, exigindo-lhes maior estabilidade térmica e novos níveis de

conforto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de formas de habitar mais sustentáveis, de acordo com os seguintes princípios de optimização dos recursos ambientais.

**a) Ideia integradora e completa de sustentabilidade**

Num primeiro plano, é necessário perceber que os princípios de sustentabilidade para a habitação implicam uma visão integrada, que corresponde a uma tendência fundamental em termos de integração: ambiental, funcional, paisagística, social e cultural. Esta-se, ainda numa fase de proliferação de grandes listagens de aspectos a considerar para a melhoria de sustentabilidade residencial, no entanto, começa a ser urgente definir prioridades e objectivos face ao processo construtivo, e que a sua caracterização específica constitui um elemento insubstituível da sua sustentabilidade.

**b) Correcta integração no ambiente físico**

As cidades por natureza, não são sustentáveis, designadamente, em termos ambientais. Para avançar nesta matéria há que tentar tudo fazer para a redução das influências ambientalmente negativas, e para o fazer, há que privilegiar intervenções integradas e consistentes, designadamente nos seguintes aspectos: no que se refere ao espaço urbano existente, será necessário, por um lado, reduzir a fragmentação e consolidar as malhas urbanas, por outro lado, será necessário reabilitar o construído, renovando, restaurando ou até mesmo substituindo edifícios. O novo espaço urbano, deverá preceder de um planeamento integrador de forma a estruturar o espaço como um todo, tendo em conta a geometria da insolação em edifícios e espaços públicos, o conforto acústico, considerar as características de composição e de reutilização dos materiais, favorecendo aqueles que sejam mais amigos do ambiente.

**c) Gestão eficiente de Água e Energia**

Os impactos relacionados com a água e a energia incluem os âmbitos relacionados com a redução do consumo e a sua possível contaminação ambiental. Deste modo, para uma gestão do ciclo de água e a protecção dos recursos hídricos deve-se preconizar o aumento da retenção e infiltração natural através da criação de zonas verdes, permeáveis, que contribuem para a infiltração e retenção natural das águas superficiais; criar mecanismos para reduzir o consumo e desperdício de água potável através de equipamentos mais eficientes e acções de sensibilização; separar ao nível do sistema de drenagem as águas residuais de forma a tornar mais eficaz o tratamento das mesmas; possibilitar a recolha das águas pluviais em depósitos nos edifícios para a sua reutilização. No que se refere à energia, qualquer medida que tenha como objectivo poupar energia, que supõe, ao mesmo tempo, uma redução dos impactos ambientais, deverá ter em consideração duas perspectivas: a redução das necessidades de consumo, obtida, na prática, pela conjugação de vários factores tais como, construir com elevada massa térmica, assegurar o isolamento térmico e a protecção solar, maximizar a exposição solar para ganhos térmicos, aumentar o desempenho energético de equipamentos e utilizar sistemas integrados de gestão de consumos; numa outra perspectiva, será necessário assegurar o recurso a fontes de energia

renováveis, passivas ou activas, através da correcta orientação dos edifícios de modo a beneficiar dos ganhos solares, da iluminação, da ventilação natural e sobretudo através da integração de sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis.

**d) Gestão de Resíduos e Materiais**

O sector da construção é responsável por uma percentagem elevada do consumo de recursos naturais extraídos da Terra e as grandes quantidades de resíduos que produzimos advêm deste sector. No sentido de reduzir estes impactes podem ser consideradas algumas estratégias: a gestão dos materiais deverá potenciar a reutilização e reciclagem, minimizar a quantidade de materiais que libertem substâncias químicas perigosas, incorporar materiais locais para minimizar o custo ambiental dos transportes, incrementar a vida útil dos materiais fomentando o aumento da qualidade. O controlo da geração dos resíduos resulta da diminuição dos resíduos inertes mediante a redução na sua origem e fomento da reciclagem, a adaptação de critérios de projecto que facilitem a desmontagem e separação selectiva dos resíduos durante os processos de reabilitação ou demolição.

**e) Condições de conforto e saúde**

A habitação deve contribuir para aumentar a qualidade de vida (saúde e bem estar) de todas as pessoas, enquanto utilizadoras do meio edificado. Ditos objectivos podem ser criados através da disponibilização da qualidade do ar interior e a minimização do consumo de recursos não renováveis. A habitação deve assegurar que não existam factores de risco para a saúde dos moradores, nomeadamente: a utilização de materiais com baixas emissões tóxicas; a disponibilização e controlo da luz e da insolação no interior (contributo para a satisfação com o habitar); a diminuição de ruídos e odores; a optimização dos aparelhos de ventilação. Em complemento, a habitação deve proporcionar condições confortáveis, deve ser termicamente equilibrada através de uma construção bem isolada, favorecida por uma ventilação estratégica que harmoniza a temperatura do ar, da humidade e dos odores; deve considerar também a iluminação como factor chave de conforto.

Estes princípios devem ser alcançados com um consumo mínimo de recursos não renováveis. É evidente que a escala das necessidades aumentou de forma quase incontrolável, mas é importante termos presente que os recursos naturais são finitos e que para garantir o seu abastecimento, hoje e no futuro, deve-se assimilar conhecimentos às matérias ligadas à energia, ao aproveitamento passivo e activo da energia solar e eólica e às matérias da poupança de recursos e reciclagem.

## **2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SECTOR RESIDENCIAL**

Referiu-se anteriormente a importância dos aspectos associados à sustentabilidade a nível global e local mas será importante ter em conta que para uma maior satisfação residencial, é cada vez mais claro o peso que tais aspectos poderão ter no orçamento de cada família (ex., a



oscilação dos preços dos recursos energéticos). Por outro lado, o acesso à habitação própria em Portugal tem-se generalizado, constituindo o maior encargo financeiro dos proprietários (INE, Censos 2001). Daí a necessidade de adoptar medidas específicas de eficiência energética para as habitações de forma a reduzir a procura de energia, mantendo ou mesmo melhorando os níveis de conforto e bem-estar dos seus ocupantes.

A efectiva implementação do Regulamento das *Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) assim como a *Certificação Energética dos Edifícios*, orientados para a obtenção de objectivos ou resultados, oferecem uma oportunidade importante para vincular a materialização do edifício com a sua eficiência energética e ambiental. Contudo, os recentes regulamentos serão pouco eficazes se não existir uma forte consciencialização de todos os actores que participam em qualquer construção, nomeadamente proprietários, profissionais, construtores e administração pública.

Segundo uma análise quantitativa das condições da habitação, com base em dados do European Community Household Panel (ECHP) e a Eurostat, quanto a níveis de eficiência energética, condições e grau de satisfação com a habitação em 14 países europeus, a percentagem de habitações que possuem capacidade para aquecer a casa adequadamente é alarmante e variável na EU (HEALY, 2003). A taxa média dos 14 países analisados é de 16,9%, sendo que o norte de Europa apresenta incidências de 4%, enquanto países como Portugal, Espanha e Grécia ronda os 74% (HEALY, 2003). Este mesmo estudo conclui, que a deficiência mais notável nas condições de habitabilidade diz respeito à eficiência energética das habitações, sendo que revelam graves problemas de insuficiência térmica. Este estudo demonstra a forte lacuna de eficiência energética existente nas habitações portuguesas.

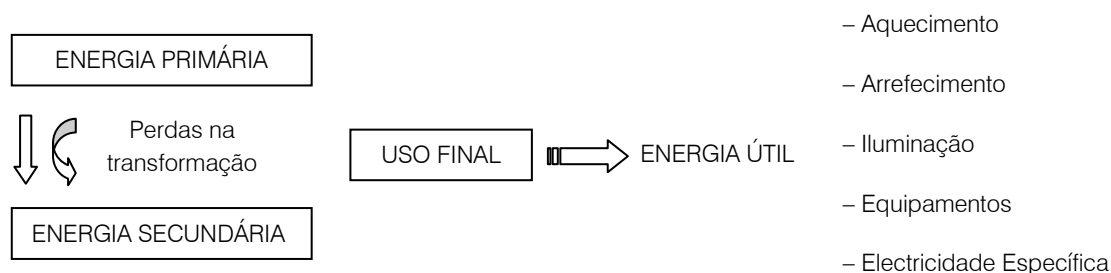
### **2.3.1 Perfil de utilização de energia**

Os edifícios de habitação e o sector de serviços na Europa são responsáveis por 40% do consumo de energia final (BOWIE, 2003), representando o sector doméstico 63% do consumo total de energia nos edifícios europeus (BALARAS e tal., 2005). Em Portugal estes valores são um pouco mais modestos, os edifícios foram responsáveis por 31% do consumo total de energia final do país e aproximadamente 62 % dos consumos de electricidade em 2007 (DGGE, 2007). O sector residencial com cerca de 3,3 milhões de edifícios contribuiu com 18% dos consumos de energia final, representando cerca de 28% dos consumos de electricidade, o que evidencia a necessidade de valorizar a eficiência energética de forma a moderar os consumos (DGGE, 2007).

Várias são as razões que evidenciam esta necessidade, a primeira e mais evidente tem sido o crescimento do parque construído em Portugal nos últimos anos, construídos sem os adequados critérios de eficiência energética, nem de protecção térmica. Isto permite afirmar que mais de metade dos edifícios construídos no território nacional podem ser considerados autênticos depredadores de energia (ver capítulo 5). Por outro lado, os hábitos dos habitantes exigem um

grau de conforto térmico cada vez maior, isto obriga a reforçar o aquecimento no inverno e arrefecimento no verão, denotando um aumento significativo no consumo energético.

O uso de energia nas sociedades passa geralmente por uma série de etapas de transformação, desde a sua captação na natureza (energia primária) até o momento em que é usada nas habitações (figura 3). Neste percurso a energia primária sofre transformações, ao longo das quais se vai perdendo energia. As diversas formas como a energia se apresenta registam-se perdas no processo de transformação de energia primária em energia secundária, no transporte da energia até à habitação, e no próprio uso final, dependendo esta última das eficiências das tecnologias de transformação.



**Figura 3** Cadeia do uso da Energia

O utilizador doméstico obtém a energia essencialmente de duas formas distintas: a Electricidade, que chega a nossas casas maioritariamente através da produção hídrica e térmica, esta última com recurso à queima de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e derivados de petróleo) e a utilização directa de combustíveis tais como o butano, o propano, o gás natural ou o gasóleo, que são queimados localmente para a produção de calor (esquentadores, caldeiras, etc.). A utilização de combustíveis fósseis apresenta dois grandes problemas: os impactos ambientais, provocados pelo aumento da produção de CO<sub>2</sub>, e de outras fontes de poluição, e a dependência nacional face aos mercados internacionais, originada pela ausência de recursos energéticos fósseis em território português.

Em termos de utilizações finais, segundo dados apresentados pela Direcção Geral de Energia os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se aproximadamente da seguinte forma: cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS) 50%, aquecimento e arrefecimento 25%, iluminação e equipamentos 25% (DGE, 2002). Estes valores permitem identificar os pontos fracos e concentrar esforços, de forma a melhorar a eficiência energética e térmica dos edifícios, consciencializando de que uma utilização eficaz da energia pode melhorar as condições de conforto, bem-estar das nossas habitações.

Adicionalmente, constata-se que as famílias pagam cada vez mais pela energia que consomem e que existem elevados níveis de ineficiência e desperdício na utilização da mesma, tornando-se um factor negativo para o crescimento económico. É nesse sentido que a eficiência

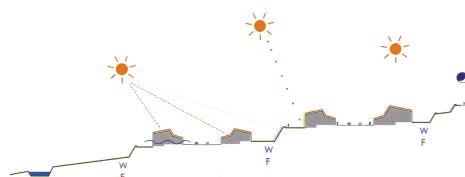
energética tem sido prioridade para a Comissão Europeia que edita o *Livro Verde sobre a eficiência energética ou “fazer mais com menos”* (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 2005) de forma a identificar os pontos-chave (negativos e positivos) de forma a incentivar a obtenção de eficiências mais rentáveis. Este documento refere que a eficiência energética nos edifícios é um domínio onde podem ser realizadas grandes poupanças, para além do contributo significativo para resolver o problema das alterações climáticas.

Uma vez que o presente trabalho se centra na análise das medidas que possam contribuir para a qualificação das habitações, salientando, sobretudo, um maior aproveitamento energético, para evitar a utilização excessiva de sistemas de arrefecimento/aquecimento, torna-se necessário apresentar e caracterizar os factores que interferem no comportamento térmico e energético como brevemente se referem nos pontos seguintes.

### 2.3.2 Factores associados aos edifícios

A disponibilidade de energia barata teve também um profundo impacto na construção e no ambiente construído, fez com que se passasse de uma arquitectura adequada ao clima para um clima fabricado para a arquitectura, utilizando energia à custa da degradação do ambiente exterior. O processo lógico para o caminho da eficiência energética é trabalhar com as forças da natureza e não contra elas, aproveitando as suas potencialidades para criar condições de vida adequadas. Os edifícios residenciais serão energeticamente eficientes quando implantados num determinado ambiente reduzam as tensões desfavoráveis e aproveitem todos os recursos naturais que favoreçam o conforto e bem-estar dos ocupantes. A este respeito devem ser analisados os seguintes factores:

#### 2.3.2.1 Implantação



A implantação dos edifícios determina as condições climáticas com que a habitação tem de se relacionar, sejam estas condições macro-climáticas e micro-climáticas. As condições macro-climáticas são consequência da pertença a uma latitude e a uma região determinada. Os dados mais importantes que as definem são: as temperaturas médias, máximas e mínimas; a variabilidade pluviométrica; a radiação solar incidente; a direcção do vento e a sua velocidade média. As condições micro-climáticas são consequência da existência de acidentes geográficos locais que podem modificar as anteriores condições de forma significativa. Pode-se considerar:

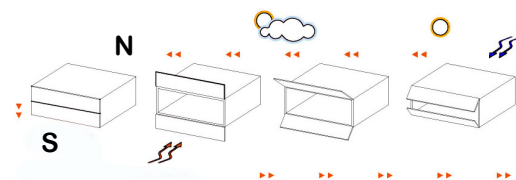
- a) a pendente do terreno, pois determina uma orientação predominante da habitação.
- b) a existência próxima de elevações, que podem incidir como barreira frente ao vento ou frente à radiação solar.

- c) a existência de linhas de água, que reduzem as variações bruscas de temperatura e incrementam a humidade ambiente.
- d) a existência de zonas arborizadas próximas
- e) a existência de edifícios

Os dados climáticos de uma determinada região devem ser analisados segundo as características anuais dos seus elementos constituintes. Assim, deve-se ter em conta os efeitos modificados pelas condições micro-climáticas de cada lugar.

Para a limitação do consumo energético o RCCTE propõe uma classificação em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e em três zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3), com base nas severidades climáticas. Para o seu cálculo devem ser tidas em conta o número de graus-dias de aquecimento, a duração da estação de aquecimento e a radiação solar do local.

### 2.3.2.2 Forma e Orientação



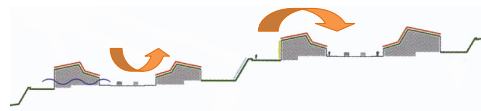
A forma e a orientação solar têm um forte impacto na eficiência energética do edifício, determinados pela:

a) **superfície de contacto** entre o construído e o exterior, o qual influencia as perdas ou os ganhos térmicos. A necessidade de aquecer uma casa no inverno advém do calor gerado no seu interior ser continuamente transmitido para o exterior através das paredes, janelas, telhados, pavimentos, etc., ou seja através da superfície de contacto com o exterior. Assim quanto maior for esta superfície que envolve o volume aquecido, maior será a transferência de calor. Para ser eficiente do ponto de vista energético, o edifício deve ter um factor forma, ou uma relação superfície/volume baixa.

b) **captação solar**. Normalmente interessa captar toda e qualquer energia disponível, sendo esta uma fonte de climatização no inverno, reduzida de verão com a utilização de sombreamentos e outras técnicas para evitar a radiação. A orientação a Sul favorece a captação da energia solar passivamente. A junção de uma forma compacta, evitando as perdas de calor, associada a uma boa orientação solar garantem ganhos solares suficientes para minimizar o consumo energético nas estações mais frias, determinando o grau de conforto oferecido aos ocupantes. Contudo, é necessário ter em conta os valores máximos de radiação para os dois cenários presentes no nosso país (verão e inverno) e obter o melhor compromisso possível de modo a conseguir um equilíbrio de eficiência de energia solar. Regra geral, é preferível que a exposição solar das superfícies Este e Oeste seja reduzido. Estas duas orientações são difíceis

de valorizar, principalmente durante o verão a entrada de radiação é difícil de controlar, uma vez que se faz quase perpendicularmente às janelas. Para combater a influência do frio de inverno, é aconselhável reduzir as paredes e janelas orientadas a Norte e aumentar as que estão orientadas a Sul, pois oferecem ganhos térmicos no inverno e são mais fáceis de proteger da luz do Sol no verão. Esta duplicidade de cenários, protecção no verão e potenciador de aquecimento no inverno é actualmente possível usando sistemas de sombreamento, exercendo um papel fundamental ao nível da eficiência energética de um edifício.

### 2.3.2.3 Movimentos do Ar, Vento ou Brisa



Os movimentos do ar influenciam o comportamento do edifício pela capacidade do ar em criar uma estratificação de capas, que situa as mais frescas (as mais pesadas) na parte inferior, beneficiando portanto as habitações que se encontram em contacto com ele. Se por outro lado, forçarmos o movimento do ar, o seu percurso pelo interior da habitação servirá para capturar calor do espaço interior antes da sua saída para o exterior.

Em relação à resistência, que o edifício pode oferecer frente ao vento, tendo em conta as direcções dos ventos predominantes, tanto de inverno como de verão é possível encontrar uma solução que minimize as infiltrações de inverno e se incremente a ventilação no verão.

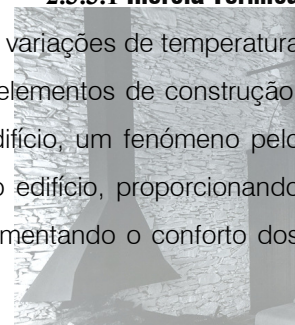
### 2.3.3 Factores associados à envolvente térmica dos edifícios

De entre os diversos factores que afectam o comportamento térmico dos edifícios, destacam-se sobretudo, os materiais e os sistemas construtivos utilizados na definição da envolvente, enquanto influência directa nas condições de conforto no interior. Para criar ambientes interiores salubres e confortáveis, é necessário que exista interacção entre o edifício e o clima em que está inserido. Na essência, a qualidade de um edifício depende das características dos elementos que fazem a fronteira entre a casa e o ambiente exterior, ou seja, da capacidade adequada para acumular, absorver ou evitar ganhos e perdas de calor no Verão e no Inverno.

As características principais a ter em conta, no que diz respeito aos ganhos de energia, são a inércia térmica do material e o seu poder isolante, as pontes térmicas, os envidraçados e a ventilação, factores que afectam o comportamento térmico dos edifícios.

### **2.3.3.1 Inércia Térmica**

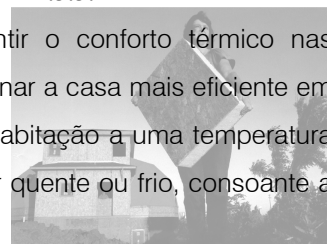
A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior devido à sua capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção. Trata-se de um factor determinante no comportamento térmico do edifício, um fenómeno pelo qual o edifício amortece as acções térmicas exteriores e interiores do edifício, proporcionando uma menor variação de temperatura interior e, conseqüentemente, aumentando o conforto dos seus ocupantes.



A inércia térmica influi sobre o comportamento do edifício tanto de inverno, ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como de verão, ao influenciar a capacidade do edifício absorver os picos de temperatura. As paredes com uma estrutura pesada (composta por materiais densos e pesados como a pedra e os tijolos maciços) têm uma elevada capacidade térmica, funcionando como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, contrariando a oscilação climática do exterior.

### **2.3.3.2 Isolamento Térmico**

O isolamento térmico de edifícios é fundamental para garantir o conforto térmico nas habitações durante todo o ano, principalmente no inverno, e para tornar a casa mais eficiente em termos energéticos. O objectivo principal é manter o ar interior da habitação a uma temperatura confortável, para tal é necessário evitar a entrada de correntes de ar quente ou frio, consoante a época do ano, com o auxílio de um material isolante.



O isolamento térmico dificulta a passagem de calor por condução do interior ao exterior da habitação e vice-versa. Assim, a sua correcta aplicação torna-se eficaz tanto no inverno como no verão. A quantidade de calor necessária para manter uma habitação à temperatura de conforto depende em larga medida, do nível de isolamento térmico, que previne a transferência de calor entre o interior e exterior do edifício.

No Inverno, os espaços interiores que não estejam bem isolados tornam-se desconfortáveis e prejudiciais para a saúde do ocupante, ainda que se gaste uma grande quantidade de energia para compensar as perdas de calor, as paredes dos referidos espaços encontram-se sempre frias, o que provoca perda por radiação do corpo humano, impondo-se uma sensação de desconforto. Durante a estação quente, um espaço interior sem isolamento torna-se excessivamente aquecido, em virtude da força de transmissão calorífica que se produz das paredes e coberturas, sobreaquecidas pela radiação solar.

Um edifício com baixos níveis de isolamento térmico conduz a perdas de calor significativas, que conseqüentemente conduzem a maiores consumos energéticos com o aquecimento e arrefecimento, sendo que de inverno os espaços arrefecem rapidamente, podendo dar origem a condensações no seu interior prejudiciais para a saúde e bem-estar dos seus ocupantes, e de verão o interior aquece mais e num curto espaço de tempo. Por esta razão, o isolamento térmico

representa um factor chave para reduzir o consumo energético, pois a sua implementação permite diminuir as perdas de calor e aproveitar os ganhos utilizando técnicas de isolamento adequadas aos edifícios.

Ao retardar o fluxo de calor pela envolvente do edifício, os isolamentos térmicos possuem várias funções (ASHRAE, 1997):

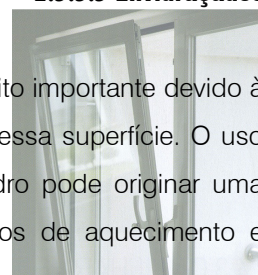
- conservar a energia devido à redução das perdas de calor;
- controlar a temperatura superficial de equipamentos e estruturas;
- ajudam a controlar a temperatura de um processo químico, equipamentos e estruturas;
- prevêm as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho;
- reduzem as flutuações térmicas dos espaços, aumentando o conforto térmico.

Para que o isolamento térmico seja eficaz é necessário eliminar as pontes térmicas e cobrir totalmente toda a superfície a ser isolada. As descontinuidades do isolamento resultam em pontes térmicas que devem ser evitadas, são pontos localizados na envolvente do edifício onde existe maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Estes pontos frágeis na envolvente acarretam um aumento do consumo de energia para aquecimento, podendo mesmo causar danos como infiltrações e condensações, reduzindo a sua durabilidade. Quanto à colocação do isolamento o ideal é colocá-lo na face exterior da massa térmica, ou seja, como recobrimento exterior das paredes, coberturas, pavimentos, de tal forma que a massa térmica actue como acumulador eficaz no interior e bem isolado pelo exterior.

Para além do aumento do grau de conforto interior, a aplicação de isolamentos térmicos nas habitações permite uma redução do consumo de energia e dos respectivos custos associados a equipamentos de aquecimento/arrefecimento, e aumentar o grau de conservação das casas e evitar muitas doenças comuns no nosso país, como doenças reumáticas e respiratórias.

#### **2.3.3.3 Envidraçados**

Do ponto de vista energético, os envidraçados assumem um papel muito importante devido à maior percentagem de perdas e ganhos de calor que ocorrem através dessa superfície. O uso indisciplinado de áreas de envidraçados e a má escolha do tipo de vidro pode originar uma construção, onde o conforto só é atingido através de recursos a meios de aquecimento e arrefecimento mecânicos muito dispendiosos.

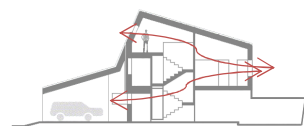


A preocupação referida no ponto anterior, com o isolamento térmico deve ser considerada tanto nas superfícies opacas, como também ao nível das áreas envidraçadas. O isolamento térmico de um vão envidraçado, depende da qualidade do vidro e do tipo de caixilharia utilizada. No que se refere aos vidros, as janelas que possuem vidros duplos oferecem maior capacidade de isolamento quando comparado com um vidro simples, a presença de ar entre vidros permite

reduzir a perda de calor de inverno e ganhos de calor indesejáveis no verão. A orientação dos vãos envidraçados condiciona a escolha do tipo de vidro, os envidraçados orientados a norte devem evitar perdas de calor para o exterior e os expostos a sul devem reduzir a entrada de radiação solar. Quanto às caixilharias, estas desempenham um papel chave na dissipação do calor. As caixilharias com corte térmico são as que apresentam melhores propriedades térmicas.

A função das áreas envidraçadas caracteriza-se pela redução das infiltrações de ar não controladas, pelo aumento da captação de ganhos solares no inverno, pelo reforço da protecção da radiação solar no verão e pela melhoria das condições da ventilação natural. Caso algum destes pontos não seja adequado, as perdas de calor provocadas pela sua ineficiência representa um aumento significativo das necessidades de aquecimento.

#### 2.3.3.4 Ventilação



A ventilação dos espaços interiores numa habitação torna-se imperiosa aquando a maximização dos níveis de conforto térmico e energético, que desenvolveram acções no sentido de reduzir a permeabilidade ao ar da envolvente. Nas habitações produzem-se grandes quantidades de vapor de água, particularmente em instalações sanitárias e cozinhas. Se uma casa for insuficientemente ventilada, o excesso de vapor de água produzido não poderá ser removido e tende a condensar nas superfícies mais frias, dando origem a fungos e bolores prejudiciais para a saúde e conforto ambiental dos ocupantes. Neste sentido, a ventilação refere-se à qualidade do ar interior de uma habitação, e a sua importância apresenta-se em vários usos: na renovação de ar - para manter as condições higiénicas; para incrementar o conforto térmico no verão - pois o movimento do ar acelera a dissipação de calor dos espaços e do corpo humano; na climatização - porque o ar em movimento contribui para conduzir o calor acumulado nas paredes, coberturas e pavimentos pelo fenómeno de convecção, retirando maior partido especialmente, nas noites de verão quando o ar torna-se mais fresco.

As medidas que visam aumentar a qualidade do ar interior de uma forma passiva reduzem também as necessidades energéticas durante a vida do edifício.

#### 2.3.4 Factores associados aos sistemas e instalações

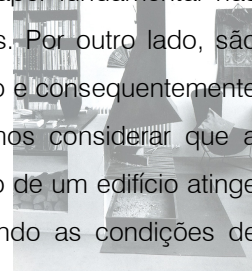
O consumo de energia no sector doméstico representa uma fatia considerável do consumo energético total em Portugal. Apesar de este valor ser ainda baixo quando comparado com outros países da EU, relacionado essencialmente com a baixa taxa de equipamentos consumidores e o clima em Portugal ser considerado mais ameno, a tendência é, contudo, para o aumento do consumo de energia.



A redução dos custos associados ao consumo de energia resulta em grande medida de uma utilização mais racional e eficiente dos sistemas e instalações consumidores de energia. Para tal, torna-se necessário apresentar e caracterizar as utilizações/usos energéticos existentes no sector doméstico associados aos sistemas e instalações de climatização do espaço (aquecimento e arrefecimento), o aquecimento de águas sanitárias (AQS), e a iluminação.

#### **2.3.4.1 Climatização**

Os sistemas de aquecimento e arrefecimento desempenham um papel fundamental nas habitações, pelo forte impacto no conforto ambiente dos seus ocupantes. Por outro lado, são responsáveis por uma parte significativa da factura energética da habitação e consequentemente pelas emissões de gases poluentes emitidos para a atmosfera. Podemos considerar que a eficiência energética de um sistema de aquecimento e/ou de arrefecimento de um edifício atinge o nível mais elevado, quando menor for o consumo de energia mantendo as condições de conforto térmico estáveis, proporcionando assim o bem-estar das pessoas.



A climatização é a categoria de usos de energia com maior crescimento, dada a conhecida situação de desconforto térmico em grande parte das residências portuguesas (AGUIAR e SANTOS, 2007). Na construção residencial têm-se vindo a reduzir as espessuras das paredes e dos pavimentos, aumentando a permeabilidade ao calor e consequente perda do mesmo durante os meses frios de inverno, produzindo o mesmo intercâmbio de calor nos meses mais quentes, mas em sentido contrário, sobreaquecendo as habitações. Esta maior permeabilidade – através do telhado, das paredes, pavimentos e envidraçados, terá tendência para ser compensada por gastos excessivos de energia térmica no interior da habitação.

Em Portugal, a climatização representa 25% dos consumos de energia dos edifícios, sendo que o aquecimento dos espaços no sector residencial representa cerca de 2-3% do consumo total de energia em Portugal (GONÇALVES et al, 2001). O tipo de climatização mais generalizado no nosso país é o aquecimento, contudo, o arrefecimento ambiente (ar condicionado) tem vindo a ter uma taxa de penetração crescente nos últimos anos, o que levou a União Europeia desenvolver uma Directiva no sentido de estabelecer níveis mínimos de eficiência energética para estes sistemas (DGGE, 2004). O aumento da utilização de equipamentos para arrefecimento do espaço interior no nosso país deve-se ao aumento do poder de compra que se repercute na crescente tendência de melhoria de condições de conforto, tornando-se um factor preocupante, em termos ambientais, devido ao grande aumento de consumo energético, contribuindo para o aumento exponencial das emissões de CO<sub>2</sub> e o consequente aquecimento global. Em termos energéticos, a solução óptima seria que os edifícios fossem construídos para que a utilização de sistemas activos de climatização fosse reduzida ao mínimo, apenas reservados para as necessidades especiais de climas severos, e não para melhorar os efeitos de uma fraca performance climática dos edifícios.

A selecção do equipamento a instalar deverá considerar a potência adequada, tendo em conta os níveis de calor de que a habitação necessita efectivamente, (sendo esta uma medida importante na eficiência energética) a dimensão da tipologia, o clima da região, o tipo de construção e o número de pessoas a que se destina. Na realidade, um sistema de aquecimento superior ao necessário pode apresentar uma eficiência mais baixa do que o previsto, e portanto, uma menor economia energética.

Outro factor importante do sistema de aquecimento, diz respeito a regulação dos equipamentos de aquecimento, pois esta permite manter a temperatura de um compartimento estável, independentemente das condições atmosféricas exteriores, permite a optimização das fontes de calor e permite a regulação correcta e separada da temperatura em cada um dos compartimentos em função da sua utilização.

#### **2.3.4.2 Águas Quentes Sanitárias (AQS)**

Numa habitação, o aquecimento de águas tem vindo a ser maioritariamente produzido através de esquentadores a gás ou termoacumuladores eléctricos, mas quando existem unidades de aquecimento central, é habitual que elas também produzam águas quentes sanitárias. Recentes trabalhos realizados, nomeadamente pelo Grupo Temático “Solar Térmico Activo” permitiram mostrar que em Portugal o aquecimento de águas, através de colectores solares, é uma forma de aproveitamento de energia gratuita, um recurso energético de grande abundância – o sol – entre os maiores a nível europeu; além de Portugal dispor de tecnologia ao mesmo nível da EU-15, e inovadora (Água Quente Solar). Em reuniões promovidas pelo Fórum de “Energias Renováveis em Portugal” concluiu-se que as principais barreiras ao desenvolvimento de colectores solares térmicos são: a existência de um elevado investimento inicial, a falta de conhecimento e credibilidade por parte dos consumidores portugueses, e constrangimentos a nível da construção e promotores dos edifícios.

Um sistema de energia solar devidamente dimensionado e colocado por mão-de-obra qualificada e certificada, pode conduzir a uma poupança de 70% dos custos em energia necessários para a produção de água quente para uso doméstico (NUNES, 2008). Para retirar o maior partido, em termos de eficiência, dos sistemas solares para aquecimento de águas é importante o seu correcto dimensionamento de forma a preencher as necessidades com a energia solar disponível no Verão, sendo necessário, sistemas de apoio convencionais no Inverno. A orientação a Sul, o isolamento das tubagens de fornecimento de água e o acesso para a manutenção e limpeza dos painéis revelam-se igualmente prioritários para a sua maior eficiência.

No que se refere aos sistemas de aquecimento de águas sanitárias convencionais, é necessário saber qual o tipo de energia disponível na habitação, reflectindo sobre a sua eficiência

e sobre os danos consequentes da sua utilização. A título de exemplo a opção pelo gás natural, sempre que possível, é mais vantajosa, tanto do ponto de vista económico como ambiental.

#### **2.3.4.3 Iluminação**

A iluminação no sector residencial pode atingir os 25% do consumo energia, tornando-se um factor chave para a eficiência energética dos edifícios. Para uma correcta iluminação do espaço, é necessário ter em conta as características da divisão, as tarefas a que lhe estão destinadas e as fontes de luz disponíveis. Tal é conseguido com a Luz, que pode ser fornecida de forma natural (luz solar), de forma artificial (lâmpadas) ou pela conjugação de ambas. É importante não só tornar o sistema de iluminação mais eficiente, mas também proporcionar um menor valor da factura de electricidade consumida pelo sistema, ao mesmo tempo que se melhora a qualidade da habitação. Foram realizados estudos segundo os quais podem obter-se poupanças de energia de 35 % com um período de retorno de apenas 4,7 anos através da substituição de lâmpadas correntes (AUDIN e tal., 1997). A iluminação deve ser executada de forma quantitativa, determinada pela quantidade de iluminação necessária para cumprir as tarefas requeridas, e de forma qualitativa relacionada com o conforto visual.

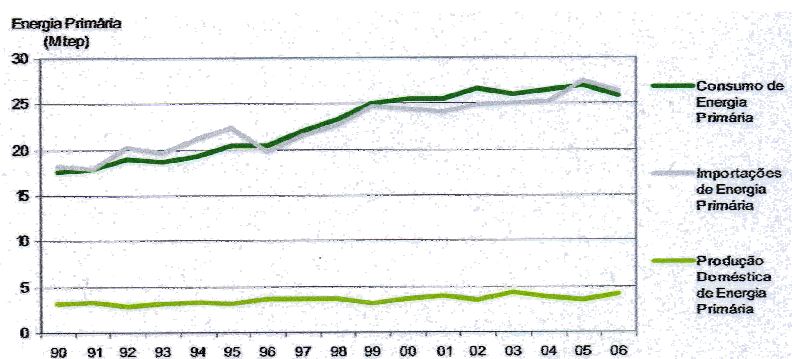
No sector residencial a iluminação natural é a melhor opção com vista à redução dos consumos energéticos dos edifícios, uma vez que reduz custos de operação, além de oferecer melhores condições de luminosidade. Contudo, a iluminação natural não pode satisfazer todas as necessidades de iluminação, devido à sua inexistência durante a noite e outros factores associados as condições climáticas, mas pode reduzir substancialmente os consumos energéticos subjacentes à iluminação artificial.

A iluminação artificial, no sector residencial é fornecida pela utilização de lâmpadas – aparelhos que transformam a energia eléctrica em radiação, onde parte da radiação é luz. Dependendo da forma como produzem a luz, existem dois tipos principais de lâmpadas no sector residencial: incandescentes e fluorescentes. As lâmpadas incandescentes, muito pouco eficientes, evoluíram para as de halogéneo, com uma eficiência ligeiramente superior, com índices de restituição da cor elevados, próximos da luz natural (DGGE, 2004). Apesar de não apresentarem ruído associado, nem interferências magnéticas, é sabido que as lâmpadas incandescentes são muito menos eficientes do que as fluorescentes, e que sofrem de um curto período de vida útil. Neste contexto, podemos perceber que um dos objectivos estratégicos para a eficiência energética, seria eliminar a iluminação incandescente a favor de uma maior conservação da energia. Um sistema de iluminação de baixa eficiência energética, como lâmpadas incandescentes, converte apenas em iluminação cerca de 5% da energia utilizada (DGGE, 2004), sendo a restante convertida em calor. Este facto pode ser responsável por um aumento da utilização de sistemas de arrefecimento de ar (ar condicionado), responsáveis por um consumo considerável de energia, dispensável.

### 2.3.5 Energia Final

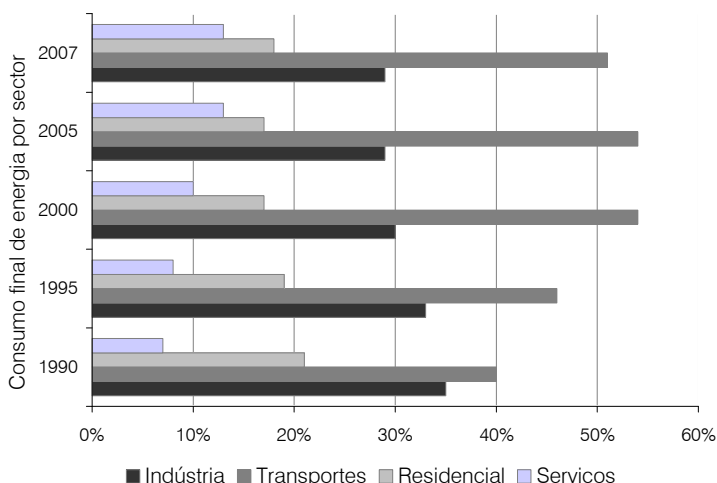
Em 2005, o consumo de energia *per capita* em Portugal encontrava-se abaixo da média europeia, embora, a tendência seja para o seu aumento. Todavia, Portugal é um país fortemente dependente de recursos energéticos internacionais como o petróleo, o carvão e o gás – fontes primárias de energia - para satisfação das suas necessidades energéticas, e como a figura 4 demonstra o consumo e as importações de energia primária têm registado um aumento, o que significa que será necessária uma alteração de padrões de produção e consumo de energia de forma a diminuir as despesas energéticas nacionais.

O consumo de energia em Portugal, entre 2000 e 2007 regista, devido ao aumento de conforto e da taxa de posse de equipamentos consumidores de energia, um crescimento médio anual dos consumos energéticos em 3.2% no consumo de energia final. Em termos absolutos, o consumo de energia final em 2007 encontrava-se em cerca de 18 Mtep, apresentando uma tendência para estabilizar após um período de grande crescimento ao longo da década de 90 (DGGE, 1990-2007).



**Figura 4** Produção doméstica, importação e consumo de energia primária.  
Fonte: DGGE, 2008

Ao analisar o consumo final de energia de acordo com alguns sectores de actividade, pode-se obter a divisão apresentada no quadro 5, com o consumo associado ao sector dos transportes a representar (em média entre 1990 e 2007) cerca de 51% do consumo total (maior sector ao nível do consumo isolado). A indústria juntamente com o sector de agricultura e pescas representam cerca de 29% do consumo total, o sector residencial consome cerca de 18 % e os restantes 13% devem-se ao consumo do sector de serviços.

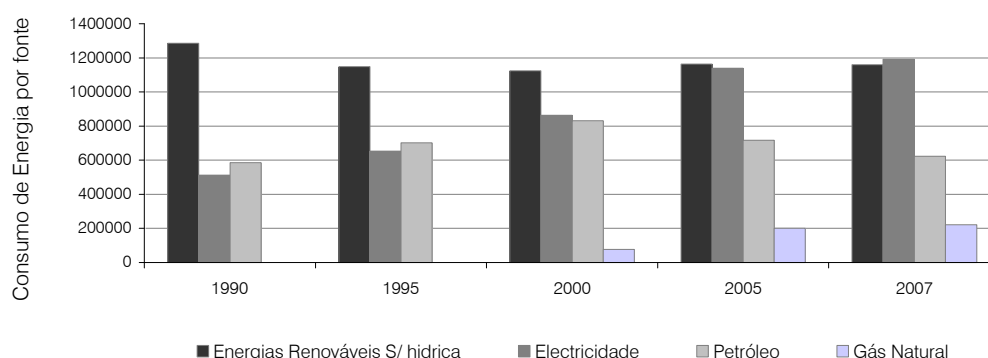


**Quadro 1** Consumo de energia final por fonte, 1990 – 2007  
Fonte: DGGE – Indicadores Energéticos

Tendo em conta os quatro sectores em que se dividiram os consumos, na figura anterior, irá ser analisada a dimensão energética do sector residencial, uma vez que o presente trabalho se centra na análise do potencial da reabilitação energética dos edifícios de habitação e por considerar-se que existem diversas oportunidades de melhoria neste sector. Como se pode verificar o sector dos edifícios, consome actualmente aproximadamente 31% da energia final utilizada em Portugal, deste valor o sector residencial é responsável por cerca de 18% do consumo, contribuindo significativamente para a emissão de gases com efeito de estufa (GEE), como é o caso do CO<sub>2</sub>.

A energia final consumida no sector residencial corresponde a energia necessária para a satisfação das necessidades energéticas associadas aos usos domésticos como a climatização, a produção de AQS, de iluminação e de electricidade específica. O consumo de energia neste sector apresenta um aumento de 31,6 % entre 1990 e 2007 (DGGE, 1990-2007). As fontes de energia utilizadas no sector residencial são produtos petrolíferos, Electricidade, Gás Natural e Outros (Energias renováveis).

No contexto geral da energia consumida, a parcela referente ao consumo de petróleo tem vindo a diminuir ligeiramente desde 2000. Isto só acontece numa análise gráfica simples como a que é aqui apresentada (quadro 2), porque o total de energia consumida (por todas as fontes) aumentou bastante nesse período, sobretudo relativamente a outras fontes como a electricidade e o gás natural e, assim, o petróleo acaba por ter menos peso. Por outro lado, a tendência decrescente poderá estar relacionada a períodos de retracção geralmente associados a fases baixas do ciclo económico. Além dos motivos de ordem económica e ambiental, outro dos motivos para este facto pode centrar-se na introdução e crescimento do mercado de gás natural como produtor de calor para o sector residencial, nomeadamente para aquecimento dos espaços.



**Quadro 2** Evolução do consumo de energia final em Portugal no sector residencial  
Fonte: DGGE, 1990 - 2007

O panorama actual de consumos verificado no quadro 2, segundo a DGGE - balanços energéticos 1990-2007 aponta para um crescimento de 132.70 % do consumo de energia eléctrica no sector doméstico, superior às restantes fontes energéticas, um aumento em 2007

(contribuição de 49.1%) face os valores de 1990 (21.1%), sendo de ressaltar a introdução do gás natural, detendo 9.10 % do consumo energético final, escalando a sua percentagem desde o seu aparecimento (1997) a uma média anual de 0.91%. Assim, a preponderância do consumo de energia eléctrica no sector tem-se acentuado. Segundo estes balanços da DGGE, o Gás Natural começou a ser utilizado como fonte de energia pelos habitantes portugueses em 1997, justificando-se a sua percentagem tão reduzida quando comparada com as restantes fontes. No entanto, prevê-se um crescimento no consumo desta fonte de energia impulsionado pelo seu forte contributo na redução de emissão de poluentes para a atmosfera, considerado um combustível mais ecológico ou seja “mais amigo do ambiente”. Em 2005 o gás natural representava 6,45 % da energia final consumida (DGEG, 2008), valores que têm vindo a reforçar o peso do seu papel no total do consumo. Por um lado, é extremamente positivo que se aposte num recurso com menos cargas para o país, do ponto de vista ambiental é menos poluidor e do ponto de vista económico é mais barato que o petróleo, no entanto importa referir que, tal como o petróleo, é um recurso finito.

Em termos das energias renováveis, ao contrário do que seria de esperar ao fim destes anos, o consumo total deste tipo de energias (sem contabilizar a energia hídrica) não tem sofrido grandes variações, chegando mesmo a verificar-se um decréscimo entre 1990 e 2007. O recurso a lenhas e resíduos vegetais, fontes de energia renovável consideradas no sector residencial, decresceu lentamente desde 1900 a 2000 invertendo-se depois a tendência até 2005.

Destes dados gerais de consumo de energia final para o sector residencial, pode-se concluir que, embora em termos de consumos totais nacionais se possa verificar um decréscimo em 2007 (contribuição de 18%) face aos valores de 1990 (21%), o mesmo não acontece quando se analisa o consumo do sector. As habitações foram responsáveis por cerca de 3,20 Mtep do consumo total de energia em 2007 o que, face a 1990 (2,43 Mtep), representa um aumento de cerca de 31,6%.

Apesar dos esforços em campanhas de sensibilização para a redução do consumo de energia, é do conhecimento geral que este tende a aumentar com a generalização da melhoria das condições de vida dos portugueses e com a introdução de novas necessidades de consumo, normalmente traduzidas em maiores necessidades de conforto térmico, iluminação e equipamentos.

Para além das novas necessidades de consumo, entre 1985 e 1997, o tamanho médio de uma habitação europeia aumentou de 83 m<sup>2</sup> para 87 m<sup>2</sup>, o que conduziu, obviamente, a um aumento no consumo de energia (PINHEIRO, 2006). O aumento do consumo de energia neste período, estará relacionado não só com o aumento da área de construção mas também do ritmo de construção, que tem vindo a intensificar-se, sobretudo no período entre 1995 e 2000. Espaços construídos, por vezes com menor qualidade que a devida, mas de forma a intensificar a rapidez da construção e a redução de custos, acabaram por menosprezar características como conforto

térmico e visual, o que levou ao recurso a mais sistemas de climatização e iluminação artificial, ambos altamente exigentes em termos do consumo de energia (e de electricidade).

Assim, é possível afirmar que o sector energético residencial é um dos pontos sensíveis do panorama português, pelo menos, por duas razões distintas: (1) a dependência do país ao nível da importação de recursos energéticos e (2) o estado de arte dos projectos que tradicionalmente se desenvolvem em Portugal, visto que a sensibilização para estas questões ainda enfrenta grandes barreiras ao nível dos arquitectos, engenheiros e construtores, de uma forma geral.

### **2.3.6 Regulamentação em vigor**

As preocupações de índole energética nasceram com a primeira crise petrolífera em 1973, e em 1979 os governos deram início a uma intensiva promoção de conservação energética. Nomeadamente em 1997, quando foi rectificado o Protocolo de Quioto e as preocupações com a etiquetagem energética de equipamentos eléctricos para uso doméstico foram incluídos na Directiva do Quadro Europeia 92/75/CEE (DGGE, 2004), aplicada pela Directiva 2002/40/CE.

A redução do consumo de energia pelos sectores residencial e de serviços é uma das áreas estratégicas de actuação da União Europeia, que elaborou, em 2002, uma Directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, obrigando os estados membros a transpô-la até Janeiro de 2006 através de leis e regulamentos. A presente Directiva fornece orientações aos Estados-Membros para que apliquem e comuniquem programas relativos à eficiência energética dos seus edifícios, com vista a materializar a redução da dependência externa da União Europeia e as emissões de GEE, e reduzir as grandes diferenças entre os Estados-Membros no que respeita aos resultados deste sector. Também estabelece os requisitos mínimos para os novos edifícios, bem como para a reabilitação dos existentes com mais de 1000 m<sup>2</sup>. Introduz a certificação obrigatória dos edifícios, das caldeiras e sistemas de aquecimento com mais de 15 kW e dos sistemas de ar condicionado com mais de 12 kW instalados, exigindo qualificação profissional adequada por parte dos técnicos de certificação e auditorias. No entanto a exigência de uma área mínima de 1000 m<sup>2</sup> para que se aplique a Directiva para os edifícios existentes é ainda um valor muito elevado, mais aproximado de edifícios de serviços (BALARAS e tal., 2005).

De acordo com esta Directiva, as medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como ambiente interior e a rentabilidade económica, sem contrariar outros requisitos essenciais aos edifícios, tais como a acessibilidade, as regras de boa arte e a utilização prevista do edifício, bem como o conforto dos seus ocupantes.

Essencialmente, o objectivo desta Directiva é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, estabelecendo requisitos de cálculo desse desempenho tendo em conta a tipologia do edifício, a aplicação de requisitos mínimos consoante o edifício

seja novo ou não e a atribuição de um certificado energético de acordo com o desempenho do edifício, certificado esse que será atribuído após a verificação por peritos qualificados.

A nível nacional, deve referir-se que anteriormente a 1990 não existiam requisitos térmicos de edificação em Portugal (PINTO, 2007). No entanto, em 1990 foi publicado o Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro – que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que veio a ser posteriormente revisto. Em 1998 foi aprovado o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) pelo Decreto-Lei nº 119/98, de 7 de Maio – tendo sido também posteriormente revisto.

A Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005 (RCM 169/2005) de 24 de Outubro, definiu a Estratégia Nacional para a Energia, visando o aumento da eficiência energética, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e uma maior utilização de fontes de energias renováveis (JOYCE, 2006). Com a adesão ao Protocolo de Quioto, Portugal assumiu, face à EU, uma contenção no crescimento das suas emissões para o período de 2008-2012, de um máximo de 27%, relativamente a 1990. No entanto, será necessário intensificar esses reforços – de redução da intensidade carbónica da economia portuguesa – dado que as emissões ultrapassavam, já na altura, esse limite. Portugal assumiu, assim, o compromisso de produzir, em 2010, 39% da sua electricidade final com origem em fontes de energia renováveis. Ainda nesta Resolução, RCM nº 169/2005, foi assumida a transposição para Portugal da Directiva Comunitária 2002/91/CE sobre a eficiência energética dos edifícios.

A aplicação desta Directiva foi efectuada através da revisão de dois regulamentos já existentes desde 1990 e contavam ainda com uma quase inexistente aplicação, e a introdução de um novo Decreto-Lei que implementa o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar nos Edifícios (SCE). O objectivo nacional que o Governo estipulou na transposição desta directiva será o aumento de 40% da eficiência energética dos edifícios (GONÇALVES, 2006). Este pacote legislativo veio por um lado reforçar a obrigatoriedade da sua implementação e, por outro, tornar mais exigentes os seus requisitos.

**1. O Decreto-Lei n.º 78/2006**, de 4 de Abril, que aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar (SCE), tem por objectivo:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às questões de eficiência energética, à utilização de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia de qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE;
- Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios. Esta certificação é atribuída através da emissão de um certificado que será atribuído após a verificação por peritos qualificados (independentes à elaboração do projecto);



- Rotular em termos de classe de desempenho energético dos edifícios, variando de A+ a G (baixa eficiência);

- Identificar as medidas correctivas, ou de melhoria, de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, cada qual associada a um custo de realização aproximado e uma estimativa de retorno de investimento;

- Identificar, para além da referida classificação de desempenho energético, o nível de emissões de CO2 equivalente;

**2. O Decreto-Lei n.º 79/2006**, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), que veio substituir o DL 119/98, e estabelece:

- As condições a observar no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente os requisitos de conforto térmico, renovação, tratamento e qualidade do ar, devem ser asseguradas em condições de eficiência energética através da selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;

- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes e para todo o edifício, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente Regulamento, bem como os limites máximos de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios.

- Os termos de concepção, de instalação e do abastecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas implementados, para a garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal, incluindo os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os principais intervenientes e a observância dos princípios da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na óptica da sustentabilidade ambiental;

- As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior.

**3. O Decreto-Lei n.º 80/2006**, de 4 de Abril, que aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), substitui o DL 40/90, que indica as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e serviços sem sistemas de climatização centralizados por forma a que:

- as necessidades energéticas de um edifício possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia, sendo estimadas *a priori*, considerando as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento do espaço, a necessidade de energia para a produção das

águas quentes sanitárias e as necessidades de energia primária, para equipamentos e iluminação;

- a obrigatoriedade da instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária abra um amplo mercado para o desenvolvimento da energia solar renovável, que tão subutilizada tem sido, contribuindo para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país, assim como, os consumidores podem beneficiar de melhores condições de conforto a custos mais baixos.

- sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais e dos elementos da envolvente do edifício, com potencial impacte negativo da durabilidade dos elementos de construção e a qualidade do ar interior.

Esta nova versão do RCCTE assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios terão meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem da sua potencial existência e uso. Não podemos, porém, falar em consumos padrão, nomeadamente no subsector residencial, já que a existência de equipamentos ou mesmo de sistemas instalados não significa o seu uso permanente, tendo em conta a frugalidade tradicional no conforto doméstico que o clima naturalmente favorece.

Neste contexto, são claramente fixadas pelo Regulamento as condições ambientais de referência para cálculo dos consumos energéticos nominais segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, quer em termos de temperatura ambiente quer em termos de ventilação para renovação do ar e garantia de uma qualidade do ar interior aceitável, que se tem vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes e o uso de novos materiais e tecnologias na construção que libertam importantes poluentes. Este Regulamento alarga, assim, as suas exigências ao definir claramente objectivos de provisão de taxas de renovação do ar adequadas que os projectistas devem obrigatoriamente satisfazer.

Recentemente, foi apresentado pelo Ministro do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional o novo Regime Jurídico de Reabilitação Urbana (RJRU), centrado em três principais linhas de actuação (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 2009):

- A criação de um quadro legal que reforce o dever de reabilitar ao mesmo tempo que favoreça a reabilitação de edifícios pelos particulares e pelos municípios;
- A mobilização de parcerias locais, envolvendo entidades públicas, associativas e privadas, para a regeneração urbana;

- O desenvolvimento de novos instrumentos de financiamento e de fiscalidade favoráveis à reabilitação urbana.

Esta nova proposta regulamentar de Reabilitação Urbana justifica-se pela actual urgência da reabilitação das cidades portuguesas, pela degradação física do parque construído traduzida em incomfortáveis condições de conforto e de habitabilidade para os seus ocupantes, pela degradação do tecido urbano, mas sobretudo pela necessidade de desenvolver novas competências viradas para as áreas da eficiência energética e da construção sustentável. Se a abordagem prevista na proposta de lei resultar, em termos de mercado, haverá, espera-se, uma procura acrescida de obras de reabilitação do edificado.



Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

## CAPÍTULO 3

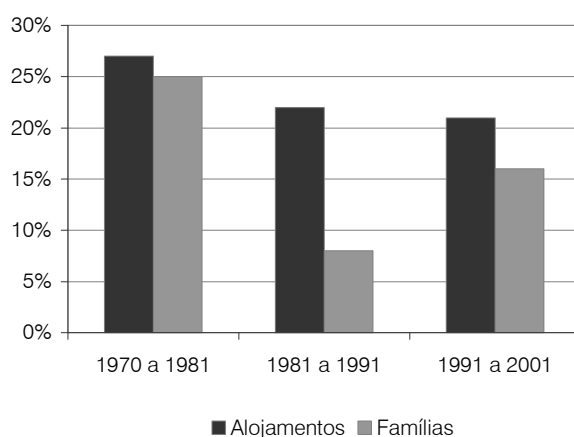
### CARACTERIZAÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL PORTUGUÊS

O estudo realizado neste trabalho do espaço construído, sobretudo os problemas referentes à habitação, pretende dar uma imagem da evolução do parque habitacional, que contribui directamente para a compreensão da necessidade de proceder a uma reorientação estratégica nesse sector. Assim, a caracterização do parque habitacional português envolve uma análise sobre a informação contida no Censos desde 1970 a 2001, relativamente às características que dizem respeito à época de construção dos edifícios, ao estado de conservação e às necessidades de reparação dos mesmos, o regime de ocupação e aos materiais usados na sua construção. Estes dados permitem-nos olhar a realidade, percebê-la e traçar cenários para o futuro quanto à potencialidade do mercado da Reabilitação Energética do parque habitacional.

#### 3.1 EVOLUÇÃO DO PARQUE HABITACIONAL: ANÁLISE QUANTITATIVA

##### 3.1.1 Dinâmica construtiva: análise do parque habitacional

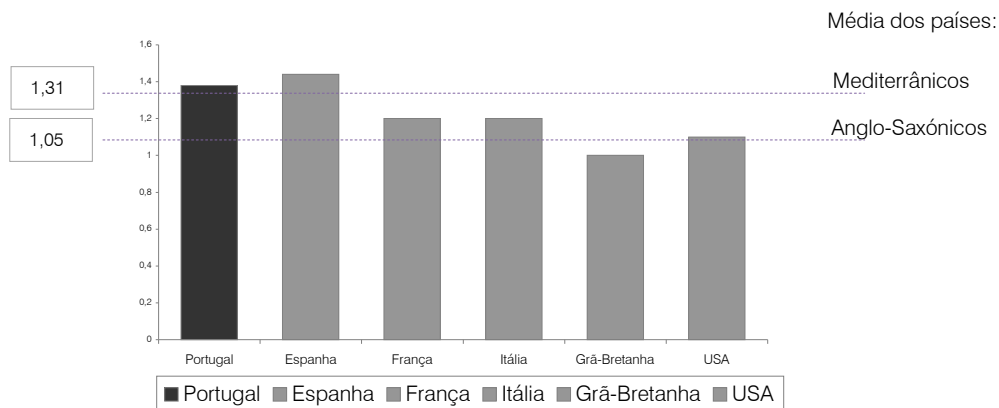
De acordo com os dados fornecidos desde o primeiro Recenseamento da População e da Habitação (1970), é possível constatar fortes dinâmicas no sector da habitação, principalmente nas últimas décadas de oitenta e noventa. De facto, o parque habitacional português manteve na década de 90 o ritmo de crescimento intenso que vinha registando desde o primeiro recenseamento à habitação em 1970. O aumento dos alojamentos ao longo das décadas de 70, 80 e 90 foi sempre superior aos 20%, ainda que as taxas de crescimento tenham diminuído de intensidade ao longo do período: 27% na década de setenta, 22% na década de oitenta e 21% na década de noventa.



**Quadro 3** Taxa de crescimento das famílias e dos alojamentos em Portugal  
Fonte: INE, 1970, 1981, 1991 e 2001

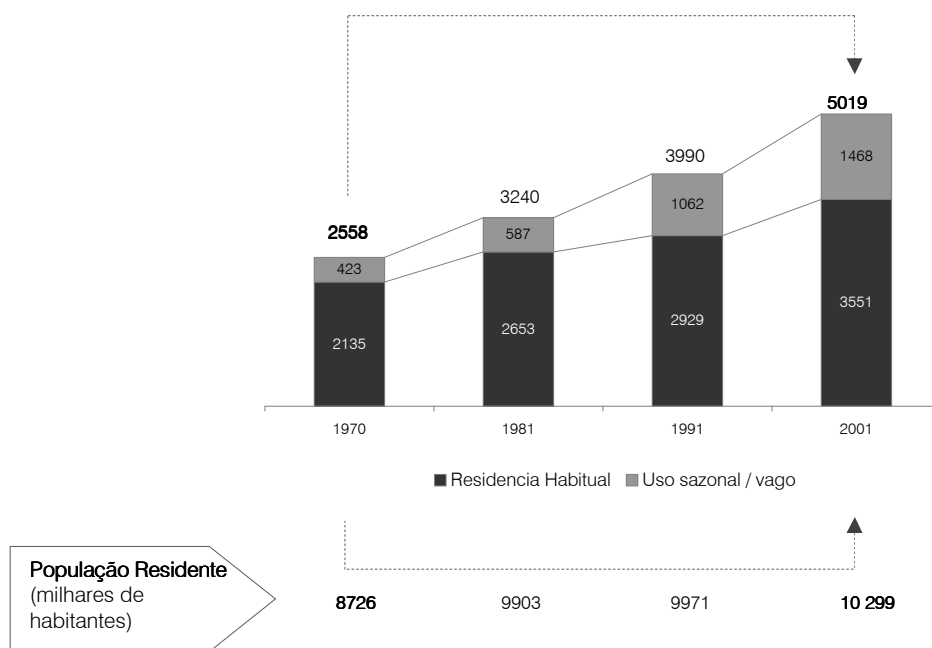
Ao comparar o número de alojamentos clássicos face ao número de famílias clássicas, constata-se com um aumento do excedente de alojamentos face ao número de famílias residentes (Quadro 4). Em 1970, o número de famílias excedia, ligeiramente, o número de alojamentos existentes, tendência que se foi invertendo rapidamente nas décadas seguintes, com

um ritmo de crescimento dos alojamentos bastante superior ao das famílias o que colocou Portugal com o segundo maior rácio de habitação por agregado familiar na EU (Quadro 4). Avaliando o rácio entre alojamentos e famílias, em 2001 existiam em Portugal, juntamente com Espanha, uma média de 1,31 alojamentos por família, um valor muito acima dos restantes países, o que traduz um maior peso relativo dos alojamentos de residência não habitual (alojamentos de uso sazonal e alojamentos vagos).



**Quadro 4** Número de alojamentos por agregado familiar, 2001

Fontes: Portugal - INE, 1970, 1981, 1991 e 2001; Espanha - EHS 1980, 1990, 2000; França - ISEE, Censos 1990 e 1999; Itália - ISTAT, Censos 1971, 1981, 1991 e 2001; Grã-Bretanha - SEH, 1971, 1980, 1990 e 2000; USA - USA-USCB Censos 1970, 1980, 1990 e 2000



**Quadro 5** Evolução do número de alojamento no Continente, 2001  
(valores em milhares de fogos)  
Fonte: INE, 1970, 1981, 1991 e 2001

Parte-se de uma condição equilibrada, em 1981, para uma condição excedente em 2001. Ou seja, passa-se de uma situação em que o número de alojamentos era ligeiramente superior ao número de famílias, para um contexto em que o número de fogos (5 019 425) é largamente superior face ao número de famílias residentes (3 650 757). Se pode verificar no Quadro 5, o

aumento dos alojamentos ocupados como residência habitual entre 1991 e 2001 é de 16.4% (igual ao crescimento das famílias), existindo um aumento dos alojamentos de uso sazonal / vago na ordem dos 33.8%, colocando-se como o grande responsável pelas altas taxas de crescimento dos fogos em Portugal.

O crescimento do número de edifícios e de alojamentos, esteve associado a um aumento das respectivas dimensões, quer ao nível do número de pavimentos, quer ao nível do número de alojamentos, paralelamente assiste-se a uma diminuição do número médio de pessoas por família, o que pode significar uma alteração dos padrões de vida da população, onde o espaço surge como um importante elemento de conforto da habitação.

### **3.1.2 Carências Habitacionais: nível quantitativo e nível qualitativo**

A identificação das carências habitacionais levanta uma grande diversidade de problemas que advêm do conceito de *necessidades habitacionais* cujos contornos imprecisos permitem incluir desde as necessidades que advêm da ausência de abrigo (quantitativo), até a simples insatisfação simbólica face à casa (qualitativo).

Tendo por base as componentes de quantificação das carências habitacionais pela via das características do parque habitacional, proposta num estudo de Duarte Rodrigues – *A evolução do parque habitacional português: Reflexões para o futuro*, (RODRIGUES, 2001), *será possível identificar* as seguintes carências habitacionais (quantitativas):

- 27 319 Alojamentos não clássicos;
- 8 178 Famílias clássicas residentes em hotéis e similares, e em convivências;
- 68 299 Alojamentos para famílias que residem em regime de ocupação partilhada
- 73 015 Alojamentos que representam o stock de alojamentos considerados necessários para garantir o funcionamento dos mercados habitacionais, mobilidade populacional ou outras formas de abate ao stock de residências habituais (estimado como 2% do número de famílias clássicas residentes).

Considerando estes valores, numa primeira abordagem genérica das características do parque habitacional a partir das dimensões que se consideram como carências “quantitativas” de alojamento, integrando a sobrelotação e as famílias alojadas em situação precária, permite aferir da necessidade de 176 811 alojamentos. Se considerarmos que este valor é inferior ao número de alojamentos vagos disponíveis no mercado (185 509), poder-se-ia concluir que não existem carências habitacionais a nível quantitativo em Portugal.

Por outro lado, com base nos dados mais recentes das Estatísticas da Construção e Habitação – 2008, o parque habitacional português estima-se em 3,4 milhões de edifícios e 5,7

milhões de fogos. Analisando a evolução entre o ano de 2001, quando se realizou o último Recenseamento da Habitação, e o ano 2008, é possível verificar que o número total de edifícios cresceu cerca de 7,6 %. (INE, 2009). Relacionando a distribuição da estimativa de alojamentos existentes em 2008, com a distribuição da estimativa da população residente (em 31 de Dezembro de 2008) com uma taxa de crescimento efectivo de 0,09%, confirma-se a linha de orientação da dinâmica habitacional desde 1991, que se refere a uma concentração de edifícios superior à população residente, o que permite reafirmar que não existem carências habitacionais a nível quantitativo.

No entanto, estes mesmos dados (Censos 2001) apontam para um parque habitacional português degradado, de qualidade construtiva deficiente e parcialmente desocupado. Deste facto, parte-se para uma análise pormenorizada, caracterizando o edificado a partir da sobrelotação e o estado de degradação e necessidade de reparações, de forma a aferir a situação de carência qualitativa do parque habitacional.

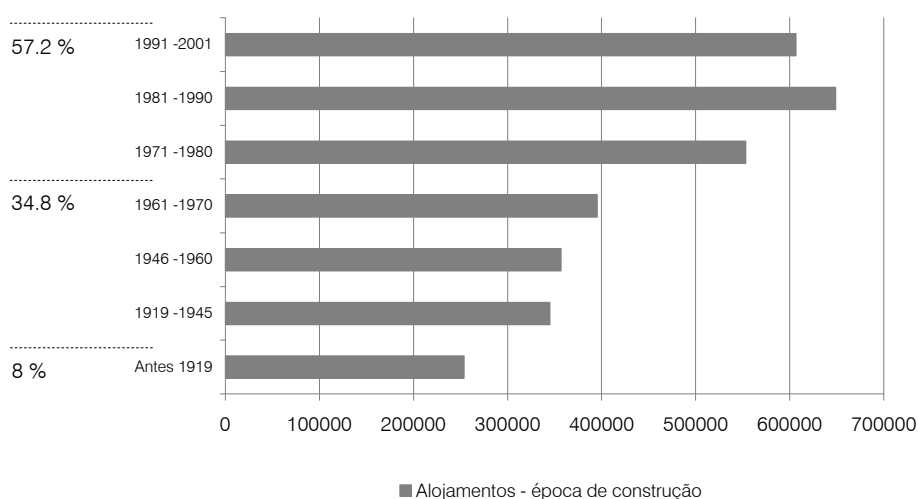
A nível nacional verifica-se que 57% dos alojamentos estão sublotados, enquanto no extremo oposto 16 % estão sobrelotados. Ao analisar a lotação dos alojamentos verifica-se que dos 568 886 recenseados, 72.8% carecem de uma divisão, 20% encontram-se com falta de duas divisões, e os restantes 7.2% têm falta de três ou mais divisões. Este facto vem reflectir as assimetrias sociais existentes em Portugal, onde coexistem alojamentos sobrelotados, abaixo dos níveis de conforto, com um elevadíssimo número de casas vagas ou sazonais. Para além da percentagem de alojamentos sobrelotados, 9% dos alojamentos clássicos, ocupados como residência habitual, não têm pelo menos uma das quatro infra-estruturas básicas: água canalizada, electricidade, instalações sanitárias ou banho/duche. A falta das infra-estruturas básicas é um problema que atinge principalmente os alojamentos construídos antes de 1945, devido à inexistência de regulamentação das condições mínimas de habitabilidade, que apenas será superado com a entrada em vigor do Regulamento das Edificações Urbanas em Agosto de 1951. Contudo é de destacar que, mesmo nos alojamentos construídos na década de 90, 4% têm falta de pelo menos uma infra-estrutura básica, colocando em evidência a falta de qualidade que ainda persiste na construção recente.

Assim, na sequência do diagnóstico da situação habitacional portuguesa, onde em 2001 os alojamentos vagos representavam uma fatia de 11%, representando cerca de meio milhão num parque de cinco milhões de alojamentos clássicos, concentrados nas construções novas (1996-2001) e nos alojamentos antigos construídos antes de 1919, (os mais atingidos pela degradação física e a necessitar de reparações), podemos concluir que a questão central não se coloca na necessidade de construir mais alojamentos, mas sim preservar e requalificar o parque habitacional existente, evitando a sua degradação física, dotando-o dos níveis mínimos de conforto e salubridade.



### 3.1.3 Índice de envelhecimento do parque habitacional

Analisando os dados dos edifícios recenseados em 2001, de acordo com a época de construção, é também elucidativa a forte expansão da habitação em Portugal. Relativamente à idade do parque habitacional, que constitui um dos principais indicadores quanto ao seu estado de degradação, pode-se dizer, com base nos dados aferidos (Quadro 6), que a maior parte do parque habitacional português é de construção relativamente recente, sendo que aproximadamente 57.2 % dos alojamentos recenseados se encontram em edifícios com menos de 40 anos, enquanto a percentagem de edifícios construídos antes de 1919 se reduz a 8%.



**Quadro 6** Índice de envelhecimento dos alojamentos no Continente, 2001  
(valores em milhares de fogos)  
Fonte: INE, 1970, 1981, 1991 e 2001

Relativamente ao estado de conservação dos alojamentos clássicos, os dados dos Censos 2001 permitem concluir que em Portugal existiam cerca de um milhão e 600 mil fogos (32%) a necessitar de pequenas e médias reparações e cerca de 326 mil muito degradados ou a precisar de grandes reparações. Relewa-se ainda que, segundo estes dados, dos 327 498 edifícios construídos em Portugal de 1991 a 2001, cerca de 13% apresentam necessidades de reparação, sendo que 1% necessitam de grandes reparações e 11% necessitam de médias e pequenas reparações. Estes números revelam a falta de qualidade e durabilidade de edifícios muito recentes. No entanto sublinhamos que deste parque degradado, apenas 57 % constitui residência habitual, enquanto um terço encontra-se vago (provavelmente devido à sua degradação) e 12 % destina-se a residência sazonal.

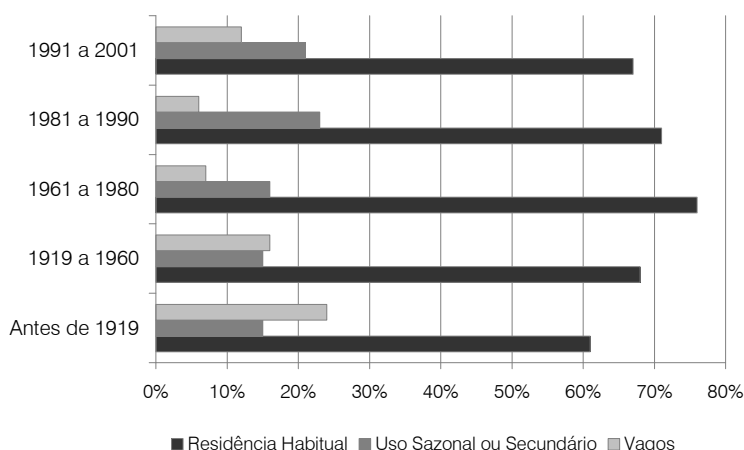
O estado de degradação dos edifícios em Portugal poderá justificar-se por um lado, pelo facto de não serem objecto de intervenções de manutenção e de reabilitação e, por outro, devido à falta de qualidade dos materiais, sistemas e processos construtivos empregues nos edifícios recentes. Destes dados pode-se concluir que a aposta na melhoria da qualidade do parque edificado surge como resposta necessária e urgente perante o estado de conservação muito

precário em que se encontra o parque habitacional, conduzindo para a destruição e abandono cada vez mais acelerado do património edificado.

### 3.1.4 Proporção dos alojamentos: forma e regime de ocupação

A evolução do parque habitacional, no decorrer destas décadas, encontra-se fortemente marcada por vários factores, entre eles, o aumento do número de habitações vagas, o aumento da residência secundária, o aumento do acesso à propriedade por parte de um grande número de famílias e o próprio mercado imobiliário que mostrou sinais de alguma saturação.

Na estrutura geral dos alojamentos clássicos (Quadro7), 71% encontravam-se ocupados como residência habitual, estando 18% afectos a uso sazonal, ou secundário, e os restantes 11% a alojamentos vagos. A residência de uso sazonal, juntamente com os alojamentos vagos tem vindo a aumentar progressivamente. A residência secundária aumentou de 16% (em 1980) para 21% (em 2001) no total do parque habitacional. Quanto aos alojamentos vagos, em 1980 representavam 7% do parque habitacional, tendo passado para 12% em 2001. O aumento do número de habitações vagas mostra, por um lado, um desajustamento entre a oferta potencial e a procura de habitação em Portugal, e por outro, um peso significativo de alojamentos devolutos, sem qualquer utilização.

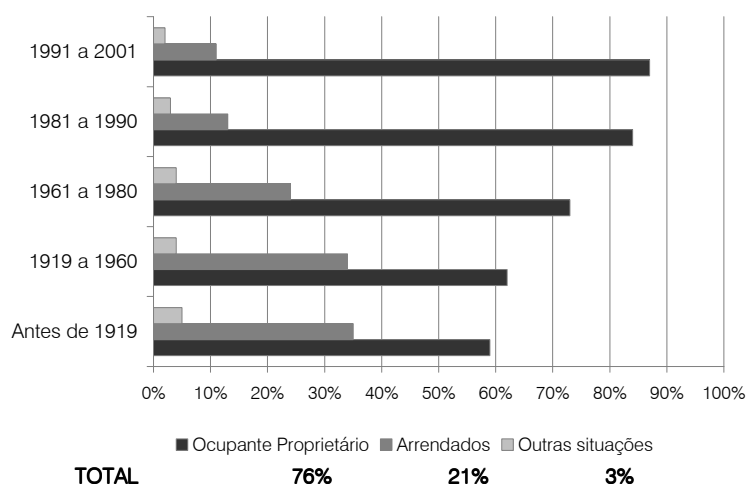


**Quadro 7** Alojamentos clássicos, segundo a forma de ocupação, por época de construção do edifício  
Fonte: INE, 2001

No que se refere à estrutura do parque habitacional (Quadro 8) é possível identificar que a residência habitual aumenta nos alojamentos de construção mais recente, remetendo a percentagem de ocupação para uso sazonal e vago a edifícios de construção anterior a 1960. Contudo, como já foi referido, o peso da habitação secundária e de alojamentos vagos na construção mais recente revela um cenário preocupante para o actual parque edificado, e denuncia a diminuição das necessidades de construção nova para alojamento em Portugal. Por outro lado, verifica-se uma diminuição da ocupação dos edifícios antigos para alojamento, caracterizando o cenário de abandono e desertificação das nossas cidades.

Do ponto de vista das formas de propriedade de alojamento, regista-se uma transformação interessante: a passagem generalizada de uma situação de equilíbrio entre o arrendamento e a posse da propriedade, para uma situação em que o acesso por parte das famílias à propriedade se torna culturalmente mais importante. Com efeito, as medidas políticas dos últimos 50 anos foram determinantes no peso relativo dos diferentes regimes de ocupação (casa própria vs. arrendamento), nomeadamente pela promoção do mercado destinado à compra de habitação, e pela ausência de políticas a favor de um mercado de arrendamento competitivo.

Em 1960 45% das famílias eram proprietárias do alojamento em que residiam habitualmente, em 1970 este valor passou os 48%, 57% em 1991, e 65% em 1997, enquanto que este valor em 2001 ascendia a 76%. Esta tendência acentua-se mais nos edifícios de construção recente (2001), onde 87% dos alojamentos estão ocupados pelo proprietário, (fig. 3.1- 7) desfasados notoriamente da percentagem apresentada para casa própria (59%) nos edifícios anteriores a 1919. Os alojamentos de residência habitual ocupados por arrendatários, pelo contrário, perderam peso (39% em 1981 face a 21% em 2001).



**Quadro 8** Alojamentos clássicos, ocupados como residência habitual, por época de construção do edifício  
Fonte: INE, 2001

Existem muitas razões que permitiram esse acesso à propriedade em Portugal, desde os factores culturais, associados à crença, que a posse da casa é um investimento, quer para o próprio, quer para as gerações seguintes, às dimensões mais articuladas com a expansão dos rendimentos familiares e consequentes políticas de crédito à habitação própria, associadas a uma significativa redução das taxas de juro. Por outro lado, a diminuição da taxa de alojamentos arrendados justifica-se pela exiguidade do sector da habitação social e pelas restrições da oferta no mercado de arrendamento privado, resultantes do prolongado controlo das rendas e da rigidez, até 1990, do regime jurídico de arrendamento.

No que se refere ao estado de conservação dos alojamentos ocupados como residência habitual, este continua a ser preocupante, os Censos revelam que 36% necessitam de

reparações, dos quais 13% são referentes a médias ou grandes reparações. O alojamento ocupado pelo proprietário encontra-se em melhores condições, em relação aos alojamentos sob o regime de arrendamento, onde se verificam uma maior degradação do estado de conservação dos edifícios, chegando a atingir 11% as necessidades de grandes reparações. Segundo estes dados parece existir uma relação directa entre o arrendamento e o estado de conservação do parque habitacional: os imóveis com os valores de renda mais baixos apresentam maiores necessidades de reparação, o que vem de certa forma evidenciar as dificuldades existentes neste sector.

### **3.1.5 Materiais utilizados na construção do parque habitacional**

As características físicas das habitações, especialmente os materiais e os sistemas construtivos utilizados na edificação, são indicadores importantes para perceber o património construído. De um modo geral será difícil defender a existência de uma cultura construtiva portuguesa específica. As descontinuidades no seu percurso evolutivo, a generalizada falta de qualidade e de critério de construção dificultam a sua caracterização, tal como já foi possível encontrar em estudos sobre períodos mais recuados como o Inquérito à Arquitectura Portuguesa.

A falta de uma especificidade, no sentido global, não impede a constatação da existência de traços dominantes, que num sentido menos abrangente, poder-se-ão enunciar:

1. A predominância da construção com estrutura porticada de betão armado e paramentos de alvenaria de tijolo abrange a esmagadora maioria dos edifícios que se constroem actualmente. A construção em madeira, ou a utilização do ferro ou armadura auto-portante de perfis de ferro para posterior recubrimento em betão constituem excepções. A parede dupla de tijolo é a solução quase universal para a resolução de problemas de estanquicidade, de protecção térmica e de protecção geral da construção. Os resultados dos Censos 2001, relativo aos materiais predominantes na estrutura dos edifícios, apontam para 40 % em paredes de alvenaria argamassada, com placa, cerca de 30,6% em betão armado, 17,8% composta por paredes de alvenaria argamassada, sem placa e apenas 11,2% constituída por paredes de adobe, taipa ou alvenaria de pedra solta.

2. Um segundo aspecto diz respeito à predominância na construção de materiais com forte inércia térmica. As várias soluções construtivas vigentes mantêm em comum o facto de usarem paramentos, pisos e divisórias pesadas. Contudo nos últimos anos assiste-se a um maior incremento das soluções de paramentos ligeiros.

3. Execução em obra de um grande número de elementos, apresentando um baixo nível de pré-fabricação. Genericamente, pode-se considerar que a indústria portuguesa produz essencialmente os materiais em obra, enquanto nos outros países da Europa é mais comum a produção a nível de elementos ou mesmo componentes. No caso português a pré-fabricação é

entendida como um factor de encarecimento, nomeadamente pela ausência de standards no detalhe e dimensão das caixilharias, das vigas e dos pilares, que reduzem a eficiência de processos de produção em fábrica e a qualidade do produto final.

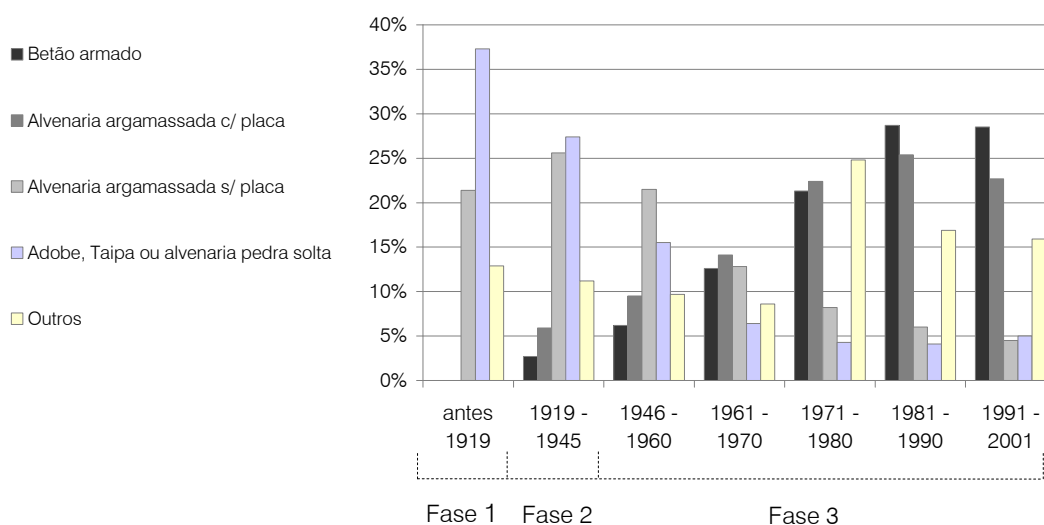
A análise à forma como foram construídos os edifícios, permite estabelecer uma divisão, ao nível das tipologias dos edifícios, de acordo com as suas características estruturais, directamente relacionadas com a época de construção, e com as tecnologias construtivas empregues. Entre os tipos de edifícios distinguem-se três fases, diferenciados não apenas pela época de construção, mas essencialmente pela presença ou ausência de elementos estruturais de madeira.

**Fase 1** - (entre 1900 e a déc. 20) Edifícios em alvenaria de pedra e pavimentos de madeira.

**Fase 2** - (entre 1920 e a déc. 40) Edifícios mistos em alvenaria e betão-armado

**Fase 3** - (entre 1950 e a déc. 90) Edifícios com estrutura porticada em betão-armado preenchida por alvenaria de tijolo.

Simplificadamente, poder-se-á dizer que a generalização do uso do betão armado, como solução corrente, aparece a partir de meados de século XX. Anteriormente os edifícios eram constituídos (Fase 1), na generalidade por paredes de alvenaria resistente, com a estrutura de pavimentos e coberturas em madeira.

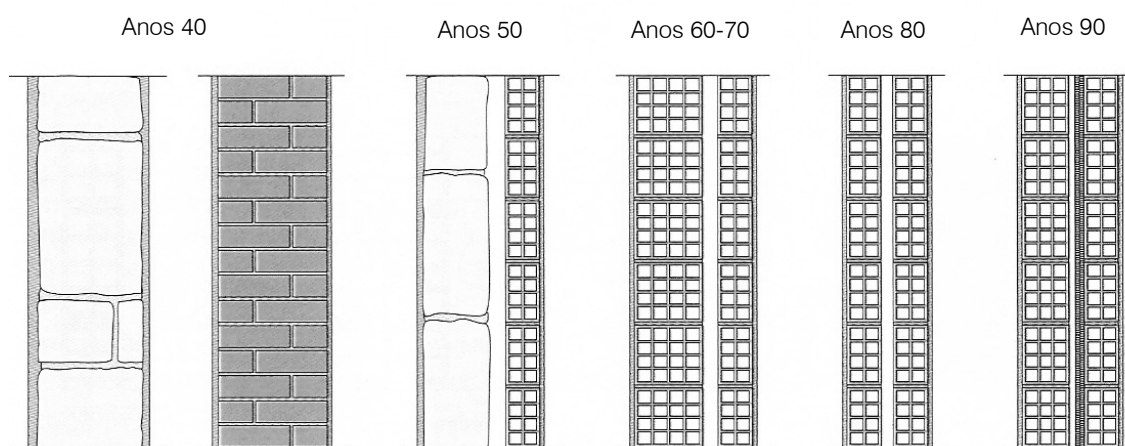


**Quadro 9** Edifícios, segundo a época de construção, por tipo de estrutura.  
Fonte: INE, Censos 2001

Os resultados do Quadro 9 revelam a presença constante e significativa dos edifícios de alvenaria, constituindo uma percentagem importante do parque edificado português. Por exemplo, em 2001, segundo os dados censitários, 57.7% dos edifícios são constituídos por paredes de alvenaria, sendo que 40% dos edifícios pertencem à Fase 2, ou seja, trata-se de edifícios mistos de alvenaria e betão, restando os 17.7% para os edifícios de alvenaria de pedra com pavimentos em madeira ou sem placa. Por outro lado, pode-se perceber que o uso de materiais como o adobe, a taipa ou a alvenaria de pedra solta, deixaram de ser utilizados com a mesma intensidade, representando nos edifícios antes de 1919, 51.8% dos edifícios recenseados.

No que se refere aos materiais de revestimento, a grande fatia corresponde ao reboco tradicional ou marmorite 61.8%. Aproximadamente 18.2% é constituída por betão à vista, cerca de 14.6% por pedra e apenas 4,5% por cerâmicos. Os materiais de revestimento, comparativamente com a estrutura dos edifícios, não sofreram grandes alterações, a sua evolução circunscreveu-se ao próprio material, ou seja, passa-se do reboco tradicional à base de cal, nos edifícios mais antigos, ao reboco fabricado/industrial nos edifícios mais recentes. Na maior parte das situações as paredes de pedra eram revestidas por rebocos ditos tradicionais, caracterizados pela espessura, executados em várias camadas. Nas zonas mais expostas (costa marítima) era usual reforçar-se o revestimento para melhorar o comportamento face à chuva, com uma camada impermeável. Noutras zonas melhorava-se este comportamento com a introdução de revestimentos impermeáveis, como os revestimentos cerâmicos, e os revestimentos descontínuos de estanquidade (ardósia ou chapas de fibrocimento). As coberturas eram na sua generalidade, em 92.4% dos edifícios, recenseados em 2001, inclinadas e revestidas a telha cerâmica.

Embora não se conheça nenhum estudo muito rigoroso sobre a evolução da composição das paredes e o respectivo sistema construtivo, pensa-se ser possível estabelecer a seguinte sequência:



**Figura 5** Síntese aproximada da evolução das paredes em Portugal.  
Fonte: (SOUSA, 1996)

- Paredes simples de tijolo maciço ou perfurado, espessas;
- Paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa-de-ar;
- Paredes duplas de tijolo com um pano espesso;
- Paredes duplas de tijolo com panos de espessura média ou reduzida;
- Paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar.

Vários são os motivos desta evolução, os quais salienta-se, o aumento das exigências, o aparecimento de novas técnicas e a introdução de novos materiais. As paredes simples caíram em desuso, a sua viabilidade é posta em causa com a renovação dos anos 60 e o “boom” da

construção. Seguem-se anos de grande expansão edificatória, acompanhado de um processo de simplificação das técnicas construtivas e uma redução drástica dos custos. Trata-se de um época que domina uma solução que, sem grandes variantes, consiste na construção de uma reticula de betão armado reduzido ao mínimo e de lajes aligeiradas, paredes de tijolo vasado (nem sempre duplas) rebocadas e pintadas, com caixilharia de alumínio anodizado e cobertura de telhas sobre laje de esteira. Este sistema construtivo, por demais simplista, que ignora os princípios da construção, a energia, o conforto e a durabilidade rapidamente vieram a revelar as suas reais [des]economias. Os anos 60 e 70 são também anos marcados pela ruptura com os processos produção, com o rápido desaparecimento de mão-de-obra especializada e o abandono de técnicas artesanais.

Com o finalizar da década de setenta, e décadas seguintes, surge um novo ciclo, de progressiva melhoria da economia e abertura do mercado europeu, caracterizado pela diversificação de materiais, aumentando o número de opções possíveis e economicamente viáveis. Contudo, este novo ciclo concorre, com o tempo de execução das obras, que tem diminuído continuamente, a par da redução de custos. Nos anos noventa, assiste-se a um aumento das exigências de qualidade da construção, associado a vários factores, desde a publicação de uma vasta regulamentação técnica, com destaque para o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, ao incremento da actividade de normalização, certificação e homologação dos materiais, até o aumento das exigências do mercado pela actual evolução da procura e dos efeitos da concorrência.

Esta análise da evolução construtiva dos edifícios, a forma como estão construídos e os materiais utilizados, permite-nos concluir que o parque habitacional português é marcado por uma solução tecnológica dominante: estrutura porticada de betão armado, com paramentos de alvenaria de tijolo, caixilharia de alumínio para os vãos envidraçados e de cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas. Contudo, com a progressiva actualização regulamentar será de esperar que as soluções construtivas correntes sejam obrigadas a sofrer uma evolução significativa, ou até mesmo a substituição por outras de melhor desempenho face os novos requisitos.

### **3.2 REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS**

Ao longo do presente capítulo pretendeu-se demonstrar os principais traços do parque habitacional português, caracterizado pelo acentuado acesso à propriedade a par de uma fraca dinâmica do mercado do arrendamento, uma percentagem elevada de fogos vagos (dos quais um peso significativo se encontra em estado de degradação), e um grande peso da construção nova em detrimento da reabilitação. Fica assente que existem desequilíbrios quantitativos no parque habitacional, assim como a ausência de um sistema de definição de qualidade na construção a par das novas exigências de sustentabilidade.

O edificado existente não pode simplesmente ser abandonado ou transformado em mais toneladas de resíduos por tratar. Pelo contrário, a sua reabilitação é, para além de um acto de valorização dos recursos históricos, uma oportunidade para promover a sustentabilidade ambiental. Será portanto desejável desenvolver intervenções de reabilitação do meio edificado que conciliem a preservação do património, a actualização das condições de funcionalidade e conforto, e a melhoria do desempenho ambiental e energético.

### **3.2.1 Principais objectivos e critérios técnicos da Reabilitação**

A melhor forma de preservar os edifícios é mantê-los em uso, sendo a reabilitação muitas vezes a única forma de o concretizar. O objectivo fundamental de qualquer acção de reabilitação sobre um edifício de habitação é devolver às pré-existências a atractividade e a sua função - abrigar pessoas, resolvendo os danos físicos e as patologias construtivas ambientais acumuladas ao longo dos anos. A reabilitação de edifícios pode ser entendida como uma intervenção destinada a proporcionar um melhoramento na qualidade do edifício de desempenho compatível com as exigências ou condicionalismos actuais, adaptado para a sua [re]utilização.

Mas existem outras operações que, de uma forma ou outra, são importantes para a manutenção e preservação da performance funcional dos edifícios:

- **Manutenção (Conservação)**      Intervenção periódica destinada à prevenção ou à correcção de pequenas degradações das construções para que estas atinjam o seu tempo de vida útil, sem perda de desempenho.
- **Beneficiação (Reforço)**      Reabilitação destinada a proporcionar desempenho superior ao Inicial.
- **Requalificação**      Avaliação ou intervenção destinada a proporcionar um desempenho adequado, em consequência de redefinição de funções, de exigências funcionais, de utilização ou de ocupação.

Outro objectivo igualmente importante consiste no respeito e salvaguarda do património imóvel, histórico ou não, para as gerações futuras, em todos os elementos de valor cultural e arquitectónico, maximizando a sua reutilização de elementos pré-existent por razões ecológicas e de sustentabilidade ambiental.

Do ponto de vista operativo e técnico a reabilitação necessita distinguir duas linhas de acção, caso se trate de edifícios correntes, ou de edifícios com valor patrimonial. No primeiro caso a reabilitação pressupõe a renovação, a reparação de um edifício para transformá-lo de acordo com os critérios económicos funcionais equivalentes aos exigidos a uma construção nova, a



intervenção destina-se a proporcionar um desenho compatível com as exigências ou condicionalismos actuais. No segundo caso, para os edifícios de valor patrimonial, a reabilitação deve ser entendida como um acto, ou um processo, de possibilitar um uso eficiente e compatível de uma propriedade através de reparações e alterações, preservando, ao mesmo tempo, os elementos ou características que transmitem os seus valores, histórico, cultural e arquitectónico.

### **3.2.2 Níveis de Reabilitação**

Cada intervenção de reabilitação de um edifício pode ser caracterizada pelo conjunto de três atributos: âmbito, natureza e grau de profundidade. Por âmbito entende-se o campo de acção a que a intervenção se vai realizar (quarteirão, edifício, fachadas), a natureza ou carácter da intervenção diz respeito aos objectivos essenciais a que se propõe (estética, construtiva, estrutural, energética). Finalmente, consoante o promotor, a intervenção pode atingir graus de profundidade ou extensões variáveis (ligeira, média, profunda e excepcional).

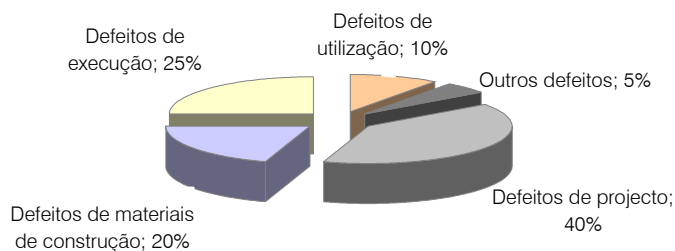
Poder-se-ão considerar quatro níveis de reabilitação (AGUIAR et. Al, 2006):

- Reabilitação Ligeira – compreende basicamente pequenas reparações das instalações e equipamentos.
- Reabilitação Média – já compreende, além do anterior, uma intervenção mais significativa (por exemplo de natureza construtiva a reparação/substituição de caixilharias, do telhado; de natureza estrutural o reforço de elementos estruturais, etc.)
- Reabilitação Profunda – para além dos trabalhos descritos anteriormente, a natureza desta intervenção justifica-se em vários pontos, seja ela construtiva, energética ou estrutural. Compreendem naturalmente a necessidade de alteração de organização e distribuição dos espaços, a criação de instalações sanitárias, reconstruções significativas, resolução de problemas estruturais, etc.
- Reabilitação Excepcional – compreende uma operação de natureza absolutamente notável, com um grau de desenvolvimento muito profundo, que em alguns casos obriga à total reconstrução do edifício.

### **3.2.3 Reabilitação em Portugal**

Nas últimas décadas, a reabilitação dos edifícios em Portugal foi sempre uma actividade negligenciada dentro do sector da construção. Esta situação provém de uma legislação generalista (RGEU e DL. 177/2001), nem sempre cumprida, de ineficientes políticas de arrendamento/manutenção e de uma cultura reactiva dos vários intervenientes.

Estes aspectos, a que acrescem as deficiências durante a concretização dos empreendimentos, agravaram o estado de conservação dos edifícios e deram origem a inúmeras anomalias, muitas delas conduzindo à falta de condições de higiene, segurança e de conforto. Na Figura 10 estão indicadas as incidências das causas das anomalias em edifícios, com destaque para os erros de projecto, responsáveis por cerca de 40% do total das mesmas.



**Figura 6** Causas das Anomalias em Edifícios  
Fonte: (PAIVA, 2002)

Neste contexto, o património construído apresenta estados de degradação preocupantes, quer ao nível dos edifícios mais antigos, construídos até 1955, onde não existem as condições mínimas de habitabilidade e de segurança, quer ao nível dos mais recentes, de estrutura de betão, em que é notório o envelhecimento precoce e acelerado dos seus elementos. Em ambos os casos as anomalias construtivas e funcionais existentes afectam as exigências dos utentes e originam a redução da vida útil dos edifícios.

O sector da reabilitação em Portugal apresenta, dentro dos países da União Europeia, a percentagem mais baixa de investimento. De acordo com estimativas publicadas, a actividade de reabilitação de edifícios representa na Europa, em média, cerca de 45% do volume total de investimento na Construção, enquanto as mais recentes estimativas apontam para um valor a rondar os 23% para o caso português (Euroconstruct – Portugal). Contudo, nas *Estatísticas da Construção e Habitação de 2008* (INE, 2009), verifica-se que, do total de edifícios concluídos em 2008 (53 600), 20,1% das obras dizem respeito à reabilitação do edificado, sendo que a maior parte destes (cerca de 66,3%) correspondem a obras de ampliação. As obras de reabilitação, propriamente ditas, no edificado, correspondem à mais pequena fatia das obras, com um peso de 14,5% face o total.

O mesmos dados estimados da construção e habitação do INE, registam que a reabilitação tem incidido mais nas moradias do que nos edifícios de apartamentos, sendo que cerca de 92,1% dos edifícios alvo de reabilitação correspondem a moradias.

Estes dados revelam que em Portugal existem ainda grandes dificuldades e barreiras da consolidação, das práticas da reabilitação e conservação do edificado, sobretudo no que se refere a edifícios multifamiliares. Pressupõe-se no entanto, que as taxas de crescimento da actividade de reabilitação e recuperação tenderão a intensificar-se, à semelhança do que se passa nos outros países europeus, devido particularmente à necessidade de uma intervenção urgente nos edifícios existentes, à nova legislação sobre exigências de conforto térmico e acústico, bem como a alguns benefícios fiscais e financeiros de apoio à conservação de edifícios.

### 3.2.4 Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação

A eficiência energética de edifícios envolve a redução do consumo de energia para níveis aceitáveis de conforto, a qualidade do ar e outros requisitos ocupacionais, incluindo a energia utilizada para a sua construção. A reabilitação energética de um edifício existente é, portanto, uma abordagem inovadora, que tem por objectivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, ou seja, conferir a esse edifício uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo para o mesmo fim.

A ineficiência energética tem um efeito directo na degradação do ambiente, de facto, a redução de emissões de CO<sub>2</sub> é um dos argumentos que se deve enfrentar a favor da transposição da reabilitação energética, como sendo um dos caminhos a seguir para lutar contra as alterações climáticas e permitir ao país cumprir com o Protocolo de Quioto. Assim, é indispensável e urgente reduzir os impactos ambientais dos edifícios através da sua reabilitação energética, promovendo a gestão racional da energia nos edifícios existentes, de forma a gerar benefícios que se podem repercutir, a nível global e nacional, e num sentido restrito, a nível do utente e do consumidor.

Para além das já mencionadas justificações da importante introdução da reabilitação energética no parque de edifícios existente, Gunther Moewes refere o seguinte:

“ A ideia de que edifícios de baixo consumo energético são respeitosos com o ambiente e de que, através da construção de mais edifícios de este tipo, cumpriremos as promessas feitas na Conferência do Rio de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> [...], é naturalmente, uma estupidez. Um novo edifício nunca reduz o consumo de energia, e sim gera novas necessidades energéticas, e a classificação de um novo solo para urbanização é fundamentalmente anti-ecológico. Basicamente, só existem três processos que podem conduzir razoavelmente as reduções das necessidades energéticas ou a carga sobre o meio ambiente: a reabilitação de edifícios existentes; a substituição de antigos edifícios ecologicamente consumidores por novas formas de baixo consumo; o fecho de interstícios entre edifícios” (MOEWES, 1977).

O parque habitacional estima-se em 3,4 milhões de edifícios (INE, 2009), sendo que uma grande percentagem foram construídos no período compreendido entre a segunda guerra mundial e os anos 80, apesar de recente, trata-se de um parque envelhecido e bastante degradado devido ao incumprimento da legislação relativa à conservação dos edifícios. Existem motivações diversificadas para alterar este panorama do parque habitacional e justificar o interesse e dinamização da reabilitação energética do património edificado. Por um lado, o elevado número de fogos a necessitar de médias a grandes reparações, que exigem intervenções de fundo que visem melhorar as suas características de habitabilidade. Por outro lado, tendo praticamente 70% do parque residencial de construção anterior a 1990, data da publicação do primeiro RCCTE (referente ao desempenho térmico da sua envolvente), apresentam uma

deficiente qualidade térmica e energética, que se traduz, essencialmente, em envolventes com um isolamento térmico insatisfatório. A inadequada qualidade térmica da envolvente dos edifícios provoca uma constante ocorrência de situações anómalas nomeadamente ao nível das condensações superficiais, temperaturas ambiente excessivas, ventilação insuficiente ou excessiva, ineficácia das soluções de protecção solar dos vãos envidraçados, que têm reflexos na qualidade de vida dos ocupantes, em termos de conforto ou mesmo de saúde.

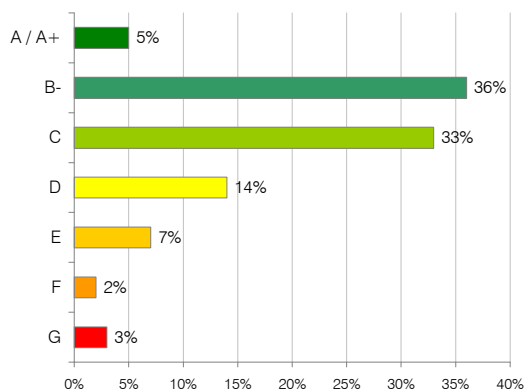
Pode-se ainda referir, que alguns dos pressupostos do RCCTE, tal como definido em 1990, tem vindo a ser alterados. Enquanto no final da década de 80 eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientais interiores, verifica-se actualmente um incremento muito significativo de sistemas de climatização, o que se tem traduzido num crescimento dos consumos de energia, no sector dos edifícios, bastante acima da média nacional, como foi referido no capítulo anterior.

A redução do consumo de energia pelo sector residencial é uma das áreas estratégicas de actuação da União Europeia, que elabora uma Directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, fornecendo orientações aos Estados-Membros para que apliquem programas relativos à eficiência energética dos seus edifícios. Na transposição nacional desta directiva, o Governo estipulou como objectivo o aumento de 40% da eficiência energética dos edifícios (Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética), através da aplicação e revisão de dois regulamentos já existentes RCESE e RCCTE, mas que contavam ainda com uma quase inexistente aplicação.

Esta progressiva actualização regulamentar aponta já no sentido da necessidade de promover a gestão eficiente da energia. Por exemplo a revisão do RCCTE, também aplicável a grandes remodelações ou alteração da envolvente, pretende limitar potenciais consumos através de uma contabilização mais realista dos mesmos, evoluindo na direcção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Esta maior exigência reflecte-se nos requisitos de isolamento térmico, nas pontes térmicas e nos requisitos de protecção solar dos envidraçados. O Regulamento fixa também, segundo padrões típicos admitidos como os médios prováveis, a qualidade do ar interior em termos de ventilação e renovações de ar por hora, um requisito que se tem vindo a degradar com a maior estanquidade das envolventes.

A progressiva entrada em vigor da nova regulamentação térmica dos edifícios, e sobretudo a entrada em vigor do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), apresenta-se como uma estratégia para a efectivação de uma reabilitação energética necessária do parque habitacional existente, resultante de uma análise detalhada dos últimos dados publicados pela ADENE (Agencia para a Energia). Em Portugal foram emitidos 112000 certificados (Junho de 2009), sendo que a grande maioria (92%) pertence ao sector habitacional, e apenas 8% ao sector dos serviços. Embora constitua ainda uma percentagem bastante reduzida, face o número de

fogos existentes no parque habitacional, a leitura geral das classificações por desempenho energético (Figura 7) permite aferir a oportunidade real e objectiva para o sector da reabilitação energética, sendo que 59% dos fogos certificados em edifícios existentes encontram-se com fracos desempenhos energéticos.



**Figura 7** Certificação Energética de Edifícios existentes  
Fonte: ADENE, 2009

A classificação energética dos edifícios como já foi referido no capítulo anterior é dada por um indicador semelhante aos já existentes na maioria dos electrodomésticos podendo ir de A+ (edifício de melhor desempenho) a G (edifício de pior desempenho). Dadas as exigências impostas pelos regulamentos associados ao SCE os edifícios novos ou sujeitos a grandes remodelações nunca poderão ter classificação inferior a B-. Um dos efeitos esperados é a valorização no mercado de habitações com melhor classificação e, consequentemente, a desvalorização das casas com pior desempenho criando assim um incentivo ao investimento em medidas de melhoria do comportamento térmico dos edifícios.

Identificadas as principais premissas à efectiva implementação da reabilitação térmica e energética dos edifícios residenciais, há que definir uma estratégia energética que, não só aumente o conforto do utilizador, mas também permita encontrar os objectivos de segurança, redução energética e qualidade do ar. Como objectivo último, numa leitura mais abrangente e de responsabilidade social, pretende-se a consolidação de cidades mais sustentáveis, mas também mais competitivas.





Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

## CAPÍTULO 4

### MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Os edifícios são vistos como a principal causa das disfunções ambientais que se conhece, e carece, nesta altura, de uma urgente mudança nas práticas comuns, que exige um profundo conhecimento dos materiais de construção e das tecnologias mais actuais. O esforço para mudar as práticas comuns será grande e terá que ser assimilado por todos os actores no sector da construção desde as entidades licenciadoras, o promotor imobiliário, a equipa projectista, o empreiteiro geral, as entidades financiadoras até o utilizador final.

No presente capítulo, abordam-se e sistematizam-se, em termos genéricos, as principais medidas de reabilitação energética passíveis de serem adoptadas na envolvente de edifícios existentes, em particular nos de habitação, identificando as barreiras e dificuldades para a sua implementação, assim como os programas e incentivos existentes.

#### 4.1 PROGRAMAS E INCENTIVOS

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 aprovou o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE), documento que engloba um conjunto alargado de programas e medidas consideradas fundamentais para que Portugal possa alcançar e suplantar os objectivos fixados no âmbito da Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 2008). O principal objectivo deste programa é, no âmbito dos esforços nacionais para a eficiência energética, utilizar a fiscalidade como mais uma ferramenta de incentivo à procura de equipamentos ou materiais energeticamente mais eficientes. As medidas definidas permitem uma redução do consumo equivalente a 10% até 2015 e consequentemente a redução das emissões de gases com efeito estufa equivalentes. De entre as medidas constantes no Plano destacam-se as aplicáveis ao sector residencial e de serviços, que integram três grandes programas de eficiência energética:

- **Programa Renove Casa**, no qual são definidas várias medidas relacionadas com eficiência energética na iluminação, electrodomésticos, electrónica de consumo e reabilitação de espaços.
- **Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios**, que agrupa as medidas que resultam do processo de certificação energética nos edifícios, num programa que inclui diversas medidas, nomeadamente isolamentos, melhoria de vãos envidraçados e sistemas energéticos.
- **Programa Renováveis na Hora**, que é orientado para o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e serviços.

No âmbito do Plano de Acção para a Eficiência Energética (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 2008), foi ainda criado o programa Fiscalidade Verde que, entre outras medidas,



irá criar incentivos fiscais à micro-produção e alinhar progressivamente a fiscalidade com o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios dando benefícios, entenda-se reduções, em sede de IRS, a habitações de classe A e A+. Através do recentemente criado Fundo para a Eficiência Energética, que irá fomentar a recuperação urbana e a implementação de medidas de eficiência energética, o consumidor terá acesso a um crédito pessoal bonificado para financiar a implementação das medidas de eficiência energética e reabilitação previstas no certificado energético. Este crédito bonificado implica um acordo com os bancos até 250 milhões de euros/ano, bem como a redução, entre 4 e 8%, na taxa para créditos sem garantias. Entre outros incentivos à eficiência no sector residencial e de serviços, é criado o Cheque Eficiência que consiste num prémio pela redução efectiva do consumo de electricidade. Este cheque será de valor igual a dez por cento do gasto anual com a electricidade, durante dois anos, se esta baixar dez por cento; e igual a 20 por cento do gasto anual em energia eléctrica durante dois anos, no caso de a redução ser de 20 por cento.

Este pacote de medidas e incentivos têm como principal objectivo a reabilitação energética do parque habitacional existente, aumentando o número de alojamentos com classe energética optimizada (superior ou igual a B-). Os incentivos para a melhoria da eficiência energética dos edifícios, focam alguns dos aspectos mais importantes como a iluminação e a utilização de electrodomésticos, a água quente sanitária e a envolvente climatérica de forma a diminuir a necessidade de climatização artificial. Por outro lado este programa visa também facilitar a integração de energias renováveis nos edifícios de forma a maximizar a quota de energia produzida a partir de fontes renováveis e reduzir assim a taxa de emissões de CO<sub>2</sub>. O plano prevê ainda uma verba para campanhas de comunicação e sensibilização para promover a alteração de comportamentos e aumentar a consciencialização para a eficiência energética.

Contudo, este Plano para a Eficiência Energética foi lançado em 2008 como projecção até 2015 mas ainda são desconhecidas as formas de financiamento ou incentivos para as medidas referidas, estando ainda sob a forma teórica desconhecendo-se a viabilidade da sua implementação, nas três questões fundamentais: como, quando e onde podemos aceder a estes programas. Por outro lado este pacote de medidas, e programas de incentivo à eficiência energética, despreza a importância da formação dos técnicos e das empresas da construção civil, que na prática vêm-se incapazes de actuar com os meios existentes.

Na área da reabilitação propriamente dita, encontra-se em fase de finalização o novo regime de apoio à recuperação do edificado, pela redacção de dois importantes instrumentos que vão enquadrar o pacote de medidas de incentivo a apoios públicos para reabilitação de edifícios: o *programa ProReabilita* (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2007) e o *novo Regime de Arrendamento Urbano* (DIÁRIO DA REPÚBLICA, 2006) que vai estabelecer os sistemas de apoios públicos para financiamento da reabilitação; e o *novo regime jurídico da reabilitação urbana* (proposta de lei- in [www.portugal.gov.pt](http://www.portugal.gov.pt)). O ProReabilita prevê a criação de um regime de apoio à recuperação de

imóveis arrendados e outro à recuperação de imóveis destinados à habitação de famílias carenciadas. Este programa irá substituir todos os programas de apoio à reabilitação urbana, irá gerir subsídios a fundo perdido e empréstimos sob tutela do Instituto de Habitação e Reabilitação Urbana (IHRU). Assim permitirá, entre outros, certificar as obras de recuperação de imóveis conferindo, no final, o acesso à actualização das rendas no âmbito do Novo Regime de Arrendamento Urbano (NRAU) a todos os senhorios que as tenham realizado (nomeadamente com o apoio a este programa).

Estas medidas que visam incentivar o sector residencial de arrendamento, quer a colocação no mercado de fogos devolutos, quer as operações de reabilitação, podem e devem valorizar, explicitamente, as componentes térmica e energética, constituindo-se neste momento como factor dinamizador no sector da construção.

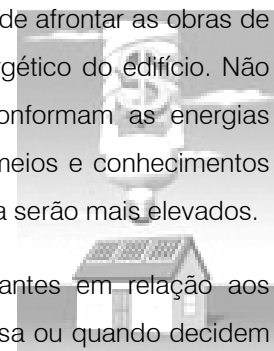
Em suma será necessário reconhecer que uma boa parte dos agregados familiares não têm meios para efectuar as reparações ou as melhorias necessárias para a reabilitação energética das suas habitações, mas também será importante reconhecer que a falta de informação, ou o desinteresse por parte dos consumidores, mesmo nos agregados com maior disponibilidade económica, são com frequência os principais motivos de inacção para actuar. Assim pode-se afirmar que a produção de economias de energia, a partir de acções de conservação ou reabilitação, depende da motivação e decisão dos consumidores pelo que a sua realização está ancorada à intervenção do Estado (e outras) que deverá actuar no sentido de alterar as atitudes comportamentais de todos os agentes económicos para os quais, em grande parte, a conservação de energia é uma actividade secundária ou inexistente.

#### **4.2 MEDIDAS DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA**

Cada dia que passa manifesta-se de forma imparável, a necessidade de afrontar as obras de reabilitação desde uma perspectiva de melhoria de comportamento energético do edifício. Não só pela consciência sobre a escassez dos recursos primários que conformam as energias tradicionais, mas também porque a sociedade nos exige instrumentos, meios e conhecimentos para diminuir os custos energéticos nos consumos familiares, que cada dia serão mais elevados.

Os utilizadores finais têm muitas vezes de tomar decisões importantes em relação aos investimentos, por exemplo quando procedem à remodelação de uma casa ou quando decidem fazer grandes alterações em casas que ainda estão em fase de projecto ou de construção. Estas decisões têm grandes repercussões no desempenho energético e podem permitir uma poupança energética considerável, através da implementação de algumas medidas correctivas destinadas a corrigir as deficiências por eles apresentadas.

Há que destacar que as medidas de reabilitação energética devidamente estruturadas, além de conduzirem à redução das necessidades de energia de aquecimento e ou arrefecimento,



podem também melhorar as condições de conforto nas habitações, reduzir a potência dos equipamentos de climatização, permitindo assim o desagrevamento das despesas totais do agregado familiar.

Nos pontos seguintes abordam-se algumas das principais medidas de reabilitação energética dos edifícios de habitação. Destacam-se, nesse contexto, as medidas de reabilitação térmica da envolvente dos edifícios e as de reabilitação energética das instalações.

#### **4.2.1 Medidas de Reabilitação Energética de Edifícios**

Os desafios colocados à actividade de reabilitação do edificado, mais precisamente a reabilitação energética, são bastante exigentes, necessitam de uma variedade de soluções que permitam trabalhar com diferentes tipos de suportes, que evitem, na medida do possível, a necessidade de demolições, que facilitem a sua aplicação e que permitam a execução dos trabalhos no mais curto prazo de tempo possível, com resultados satisfatórios, e contribuir para a promoção da redução dos consumos energéticos actuais.

No geral, as perdas energéticas de um edifício produzem-se sob duas condições: uso intensivo de instalações (aquecimento e arrefecimento do ar, iluminação, etc.) junto a um comportamento extremamente dissipativo do edifício (por exemplo, edifícios sem isolamento e/ou sem inércia térmica). São vários as medidas concretas para conseguir a eficiência energética de um edifício existente. As principais são:

- **Reabilitação térmica da envolvente do edifício** - redução do consumo energético do edifício pelo reforço da protecção das partes opacas (paredes exteriores, pavimentos sobre espaços não aquecidos e coberturas), pelo reforço dos vãos envidraçados e pelo recurso a tecnologias solares passivas.
- **Recurso a tecnologias solares activas** - através da implantação de energias renováveis, nomeadamente a solar térmica para a produção de AQS.
- **Reabilitação energética dos sistemas e instalações** - mediante a implantação de equipamentos com melhores rendimentos e de menor consumo.
- **Fontes energéticas** disponíveis; mudança da fonte energética pela diversificação de fontes e orientação a recursos energéticos menos poluentes.

A hierarquização destas medidas e por consequência, a estratégia da intervenção com vista à reabilitação energética de um edifício de habitação, variam de caso para caso e devem resultar de análises de custo/benefício. Muitas das soluções que são seguidamente apresentadas deverão ser equacionadas apenas quando o edifício for objecto de uma intervenção de reabilitação geral, pois só assim se justificam, em termos económicos e funcionais, algumas das soluções propostas.

#### 4.2.2 Reabilitação térmica de Paredes Exteriores

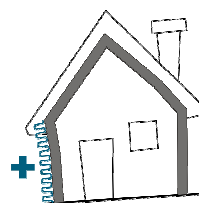
O incremento de isolamento térmico nas fachadas dos edifícios representa uma das medidas mais simples para responder às crescentes exigências de conforto térmico, que estão intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e protecção ambiental. Isolar termicamente a envolvente dos edifícios, permite minimizar as trocas de calor com o exterior e, consequentemente reduzir as necessidades de aquecimento/arrefecimento, e permite diminuir os riscos de ocorrência de condensações.

Nesta secção descrevem-se intervenções em fachadas com critérios de eficiência energética, classificados em três sectores conforme a disposição do isolamento térmico no momento de concretizar a reforma:

- Reabilitação de fachadas com isolamento térmico pelo exterior;
- Reabilitação de fachadas com isolamento térmico pelo interior;
- Reabilitação de fachadas com isolamento térmico por injeção em caixa-de-ar (limitado ao caso de paredes duplas);

O reforço do isolamento na fachada admite vários tipos de soluções, mas dependem fortemente das condicionantes do existente, devem ser analisadas caso a caso, de modo que os benefícios ao nível da redução dos consumos de energia, do conforto térmico e da qualidade do ambiente interior, sejam enquadráveis da melhor forma com as principais características construtivas e arquitectónicas de cada edifício.

##### 4.2.2.1 Soluções de isolamento térmico pelo Exterior



Têm sido desenvolvidos diversos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior que são de utilização corrente, quer na reabilitação de edifícios cuja envolvente vertical apresente índices de isolamento térmico insatisfatórios, infiltrações ou aspecto degradado, quer em novas construções. Estes sistemas constituem uma óptima solução, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo. A aplicação do isolamento térmico pelo exterior, quando esta solução é possível, apresenta sempre vantagens relativamente à aplicação pelo interior, nomeadamente no que diz respeito à eliminação das pontes térmicas e à preservação da inércia térmica interior do edifício para funcionar como acumulador térmico.

De um modo geral, os sistemas de isolamento pelo exterior são constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um revestimento exterior para protecção das solicitações climáticas e mecânicas.

A intervenção pelo exterior do paramento de suporte apresenta as seguintes particularidades:

- Em todos os casos, a obra de reabilitação executa-se com a mínima interferência para os usuários dos edifícios;

- Instalado o isolamento sobre as fachadas, não reduz a superfície útil da habitação;

- Redução das pontes térmicas, de modo que se evitam as paredes “frias”, a falta de conforto, associadas a elas e, sobretudo, o risco de formação de condensações superficiais. Este aspecto torna-se bastante importante no caso de fachadas, pelo maior número de possibilidades de se produzir pontes térmicas, nomeadamente nos encontros com a estrutura (pilares, vigas, frentes de laje) e formação de vãos (caixas de estore, padieiras);

- Aumento da inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior da camada de isolamento térmico. Este facto traduz-se na melhoria do conforto térmico de Inverno, por aumento dos ganhos solares úteis, e também de Verão devido à capacidade de regulação da temperatura interior. Torna-se especialmente conveniente isolar pelo exterior quando a habitação ou o edifício são de ocupação permanente;

- Economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior;

- Aumento da protecção conferida ao tosco das paredes face às solicitações dos agentes atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.);

- Grande variedade de soluções de acabamento;

- No caso de edifícios com um grau de protecção como parte do património classificado, será muito difícil, ou inclusive impossível, intervir pelo exterior, dada a alteração das fachadas.

Os diferentes sistemas de reabilitação existentes requerem de assessoria de empresas fabricantes e instaladores especializados, de forma a garantir a compatibilidade de todos os produtos integrantes do sistema. Dado o marco legislativo – Directiva de Produtos de Construção, começam-se a emitir normas harmonizadas e exigências essenciais aos isolamentos térmicos e sistemas construtivos.

Pode-se classificar os sistemas de isolamento de fachadas pelo exterior em três grandes famílias:

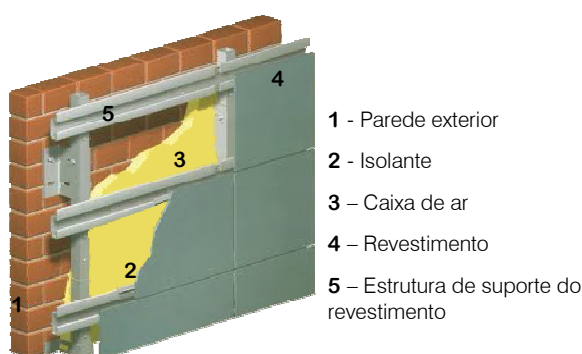
a.1) Revestimentos descontínuos fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia – fachadas ventiladas, com interposição de um isolante térmico no espaço de ar;

a.2) Componentes prefabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados directamente ao suporte – “vêture”;

a.3) Sistemas compósitos - rebocos armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico – ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems with rendering).

**a.1) Revestimentos independentes fixados ao suporte através de uma estrutura intermédia – fachadas ventiladas, com interposição de um isolante térmico no espaço de ar**

Este sistema consiste na aplicação de um isolamento térmico (lã de vidro ou lã de rocha) pela superfície exterior do suporte, e de uma protecção formada, normalmente, por uma lâmina ligeira externa, fixada à parede através de uma estrutura secundária, separando ambos materiais por uma caixa-de-ar (Figura 8 e 9). O revestimento exterior pode ser contínuo ou descontínuo, e o isolamento térmico encontra-se instalado entre a parede e o revestimento, protegido da acção da chuva, deixando um espaço de ar, onde este circula por convecção.



**Figura 8** Esquema de revestimento independente descontínuo com interposição de um isolante térmico na caixa de ar

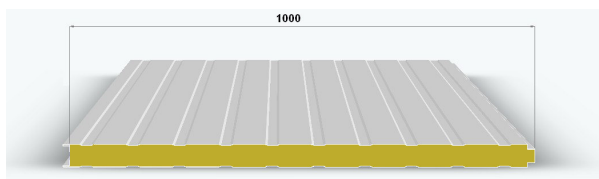


**Figura 9** Esquema de revestimento independente descontínuo com interposição de um isolante térmico na caixa de ar

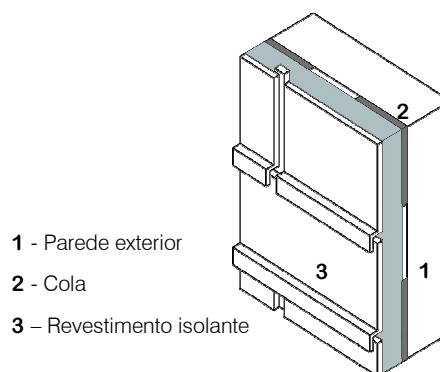
Existe uma variedade de sistemas para construir fachadas ventiladas. Estas podem ser parcialmente ventiladas, podem estar constituídas por uma única lâmina de ar (com aberturas na parte inferior e superior) ou podem dispor de aberturas na sua superfície (sistemas com junta aberta). Os suportes variam na sua forma e disposição segundo o sistema e fabricante. Existem perfis de alumínio ou de aço, em forma de “U”, ou em forma de “H” ou perfis tubulares. Os elementos de protecção podem ser elementos pré-fabricados cerâmicos, de vidro, metálicos, ou compósitos, em grande variedade de acabamentos, texturas e cores. Qualquer parede de fachada pode ser utilizada como suporte de uma fachada ventilada.

**a.2) Componentes prefabricados constituídos por um isolamento e um paramento, fixados directamente ao suporte**

Os sistemas de isolamento térmico por componentes descontínuos prefabricados (vêtures) são obtidos a partir de elementos previamente produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa revestido exteriormente por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica. Esses elementos chegam à obra prontos a aplicar, sendo a sua fixação efectuada directamente aos suportes por meios mecânicos (Figura 10 e 11).



**Figura 10** Tipo de revestimentos pré-fabricados com isolante



**Figura 11** Esquema de componentes pré-fabricados fixados directamente no suporte

Em virtude de o isolamento e o revestimento serem prefabricados, a aplicação em obra destes sistemas será feita numa operação única, dispensando as fases sucessivas inerentes às outras técnicas de isolamento térmico pelo exterior das fachadas. Caracteriza-se por um sistema industrializado baseado essencialmente em processos organizados de natureza repetitiva, totalmente mecanizados, mas que apresentam, no entanto, algumas dificuldades de adaptação a pontos singulares das fachadas, como por exemplo o caso dos vãos, que obrigam a cortes dos elementos em obra, conveniente dificuldade de tratamento das zonas cortadas.

Os dispositivos de fixação do sistema ao suporte devem atravessar toda a espessura do conjunto (revestimento – isolamento) para o manterem solidário. Sendo um sistema que não comporta caixa-de-ar ventilada entre o revestimento e o isolamento, compete-lhe ao isolamento para além das funções térmicas, servir de suporte ao revestimento e a participar na estanquidade do conjunto. Deste facto, o isolamento terá que possuir as necessárias características mecânicas e de comportamento sob a acção da água.

Para além do problema de adaptação aos pontos singulares dos suportes, na concepção de uma “vêture” devem também ser resolvidos correctamente dois outros aspectos: a configuração das juntas entre elementos e limitar o risco de condensações no interior do isolante.

Ao nível das juntas devem ser adoptadas disposições que as tornem suficientemente estanques e que permitam uma certa movimentação entre elementos, devido a ajustes de posição ou a variações dimensionais por acção da temperatura. As juntas horizontais são, em geral, de recobrimento, e portanto estanques à água. As juntas verticais são concebidas de modo a que a água da chuva que as atinge ou a humidade de condensação sejam por elas conduzidas para o exterior.

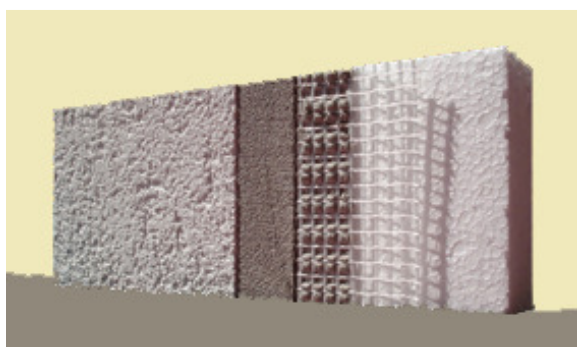
### **a.3) Sistemas compósitos - rebocos armados directamente aplicados sobre o isolamento térmico – ETICS**

A sigla ETICS designa, os sistemas compostos por isolamento térmico pré-fabricado aplicado sobre um suporte, e revestido por um reboco armado realizado em uma ou várias camadas, que

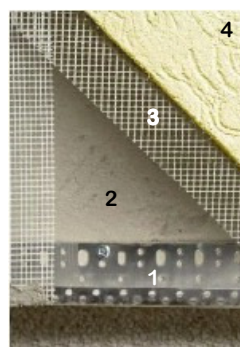
asseguram a impermeabilidade e a integridade do isolamento contra os choques. Refira-se que, para além de este sistema ter sido desenvolvido para evitar transferências de calor para um exterior frio, também funciona adequadamente para evitar transferências de calor a partir de um exterior demasiado quente, funcionando em suma, como uma barreira às transferências de calor.

Os sistemas ETICS mais frequentes no mercado são constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS) revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas, armado com uma ou várias redes de fibra de vidro (Figura 12 e 13). Como acabamento é utilizado, geralmente, um revestimento plástico espesso (RPE).

As placas de isolante são fixadas ao suporte exclusivamente por colagem. A camada de base do revestimento é aplicada em duas demãos entre as quais é inserida a armadura, destinada a reduzir a fissuração e a melhorar a resistência aos choques.



**Figura 12** Sistema de isolamento térmico exterior



**Figura 13** Composição do sistema de isolamento exterior

Neste sistema, o reboco acaba por desempenhar também um papel estrutural pois, ao contrário da aplicação tradicional, assenta sobre uma superfície com baixa compacidade e elástica. Daí que tenha de ter a tenacidade suficiente para proteger o isolamento contra as acções do exterior, assegurando a estanquidade do paramento. Para assumir este papel, o reboco tem de ter boa aderência ao isolamento, tem de ser hidrofugo e tem de estar armado, pois é a armadura que lhe vai conferir a resistência e assegurar a integridade do sistema. Refira-se que a espessura normal deste reboco se encontra entre os 5 e 7 mm, de modo a diminuir as tensões originadas pela retracção plástica das argamassas.

Existem diversos sistemas disponíveis no mercado que comercializam o conjunto de materiais e componentes necessários para a colocação em obra, de forma a certificar a compatibilidade entre todos eles. Aquando o projecto de reabilitação, deve-se tomar especial atenção aos encontros com a cobertura, as varandas, os vãos exteriores (janelas e portas), assim como qualquer heterogeneidade que contenha a fachada. Este sistema torna-se bastante vulnerável a ser danificado, sobretudo na zona mais baixa do edifício, por isso deve ser protegido com um lambrim de material mais resistente às acções mecânicas a que possa estar sujeito (fig. 14).



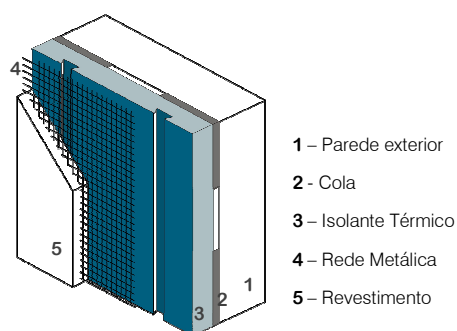


**Figura 14** Aplicação de um material mais resistente na base do edifício

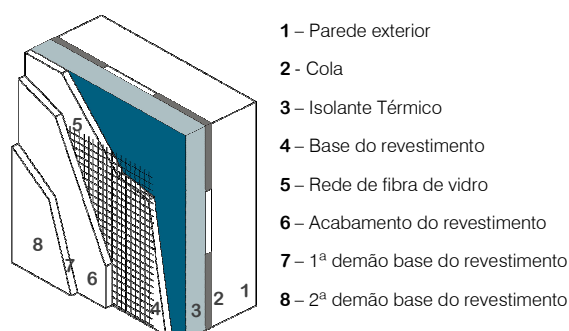
Existem dois subtipos de ETICS, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado:

- Nos sistemas de isolamento térmico por revestimento espesso (fig. 15), utilizam-se quase sempre placas de poliestireno expandido moldado (EPS) colado ao suporte e um revestimento (em geral de tipo não tradicional) de ligantes hidráulicos armados com rede metálica, sobre o qual poderá ser aplicado um revestimento delgado de massas plásticas ou uma tinta. As placas de isolamento deverão ter ranhuras na face a revestir a fim de melhorar a aderência do revestimento. A armadura do revestimento, em geral de aço galvanizado, deverá ter ligações pontuais de natureza mecânica ao suporte – grampos ou cavilhas.

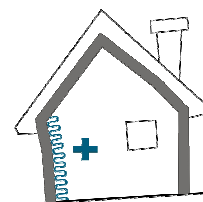
- Nos Sistemas de isolamento térmico por revestimento delgado sobre isolante (fig. 16), que é mais usual que a anterior, utilizam-se placas geralmente de poliestireno expandido moldado (EPS) colado ao suporte e um revestimento de ligante sintético ou misto, armado com uma rede flexível (quase sempre em fibra de vidro) protegida contra o ataque dos alcalis do cimento. A camada de base do revestimento é aplicada em duas demãos entre as quais é inserida a armadura, destinada a reduzir a fissuração e a melhorar a resistência aos choques. A espessura total do revestimento (camada de base e camada de acabamento) sobre o isolante é inferior a 7 mm.



**Figura 15** Sistema de isolamento térmico por revestimento espesso



**Figura 16** Sistema de isolamento térmico por revestimento delgado



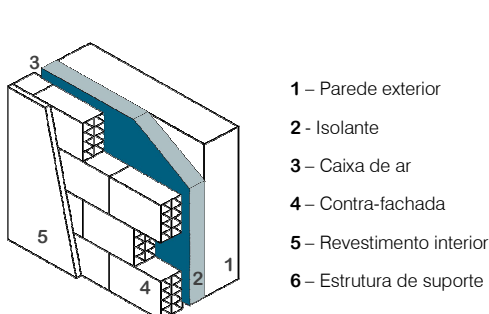
#### 4.2.2.2 Soluções de isolamento térmico pelo Interior

A reabilitação térmica da fachada pelo interior pode ser recomendada especialmente, nos seguintes casos: durante a realização de trabalhos no interior do edifício (pavimentos, reorganização de espaços, janelas, etc.); quando não se considere modificar o aspecto exterior do edifício, pelos custos em elementos auxiliares, como andaimes que lhe estão associados; sempre que compense a perda de espaço útil com as poupanças energéticas e benefícios ambientais que pressupõe a intervenção.

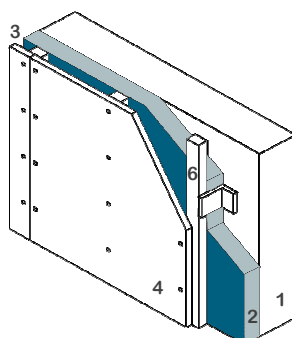
O reforço térmico pelo lado interior deve tomar em consideração os encontros com os vãos (janelas e portas), assim como a resolução das pontes térmicas.

Para esta medida de reabilitação pela face interior do edifício, constituem soluções aplicáveis em superfície corrente os painéis isolantes prefabricados, fixados contra a parede a reabilitar ou a execução de uma contra-fachada dessa parede. Em relação aos painéis isolantes prefabricados (fig. 15), a solução correntemente utilizada recorre a painéis com a altura do andar que associam um paramento de gesso cartonado e uma placa de isolamento térmico de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS), coladas no tardo das placas do paramento. Os painéis em questão podem ser colados directamente contra o paramento interior a reabilitar ou ser-lhe fixados através de uma estrutura de apoio, que define uma caixa-de-ar intermédia.

No segundo tipo de soluções, baseada na execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar (fig. 16 e 17), recorre da incorporação de um isolante térmico entre a parede exterior e uma contra-fachada. Duas soluções têm sido usadas na sua concretização, nomeadamente um pano de alvenaria leve (contra-fachada de alvenaria) ou um forro de gesso cartonado com a respectiva estrutura de apoio fixada à parede, em que o isolamento é aplicado desligado da placa de gesso cartonado (contra-fachada de gesso cartonado).



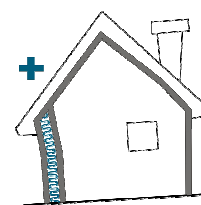
**Figura 17**  
Reabilitação pelo lado interior  
contra-fachada (alvenaria)



**Figura 18**  
Reabilitação pelo lado interior  
(gesso cartonado)



**Figura 19**  
Reabilitação pelo lado interior  
(painéis isolantes pré-fabricados)

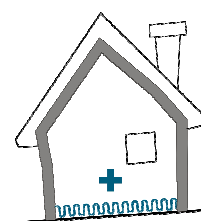


#### 4.2.2.3 Solução por injeção de isolamento na caixa-de-ar de paredes duplas

O reforço de isolamento térmico das paredes duplas por preenchimento da caixa-de-ar permite manter o aspecto exterior e interior das mesmas e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respectivos paramentos, que ficam limitadas à vedação dos furos de injeção. A injeção de isolamento na caixa-de-ar torna-se uma possível solução, sempre que esta (caixa-de-ar) seja acessível e cumpra com uma série de requisitos que possibilitem uma intervenção segura.

Este tipo de solução apenas deverá ser equacionada quando afastadas as outras medidas de reabilitação, pois apresenta algumas limitações importantes, nomeadamente na sua execução, devido a dificuldade em preencher o isolamento térmico na caixa-de-ar, seja por ter uma espessura pequena ou apresentar-se parcialmente preenchida com argamassa ou detritos, que em qualquer dos casos pode dificultar a aplicação homogénea. Por outro lado, a pressão da injeção deve ser controlada para evitar a ocorrência de deformações na parede e garantir o completo preenchimento da caixa-de-ar. Considerando as características hidrófilas dos isolantes, há que prestar a devida atenção ao estado de conservação do paramento exterior, tratando de impedir o contacto do isolante com a humidade, a fim de não afectar a sua condutibilidade térmica. Os isolantes não devem ser susceptíveis a assentamentos ao longo do tempo, nem ser sensíveis a sofrer alterações.

A fim de evitar pontes térmicas, o isolamento tem de preencher totalmente a caixa-de-ar. O *Guia Técnico da Reabilitação* (PAIVA, AGUIAR, PINHO, 2006), chama a atenção para o deficiente comportamento da espuma de ureia-formaldeído, do ponto de vista higroscópico, da estabilidade dimensional, e da estabilidade química, e alerta para os problemas que daí podem advir, inclusive para a saúde dos ocupantes, dado libertar uma substância nociva.



#### 4.2.3 Reabilitação térmica dos Pavimentos

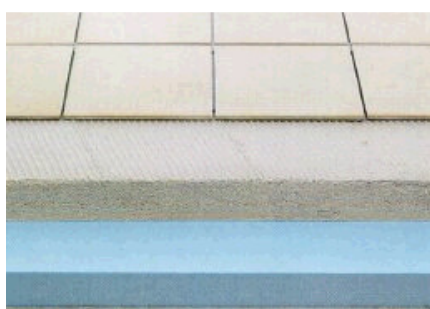
Os pavimentos a reabilitar termicamente podem localizar-se sobre espaços exteriores; sobre espaços interiores não aquecidos, nomeadamente garagens, arrecadações, armazéns, varandas, ou marquises fechadas; sobre espaços não aquecidos e não ventilados, como caixas-de-ar sobre o terreno; ou podem ser pisos térreos. Tal como os restantes elementos opacos da envolvente,

têm de respeitar os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis expressos no quadro IX.1 do Anexo IX do RCCTE. Têm de ser verificadas também as perdas pelas zonas do vigeamento, se existir, não podendo o valor máximo de U exceder o máximo do referido quadro, nem ser superior ao dobro dos elementos homólogos. Isso significa que, não apenas os pavimentos dos edifícios a reabilitar têm de ser alvo de medidas que promovam a melhoria do seu desempenho térmico para níveis regulamentares, como a solução a promover tem de enquadrar também a zona das vigas. Para pavimentos térreos em contacto com o terreno, são contabilizadas perdas térmicas lineares perimetrais.

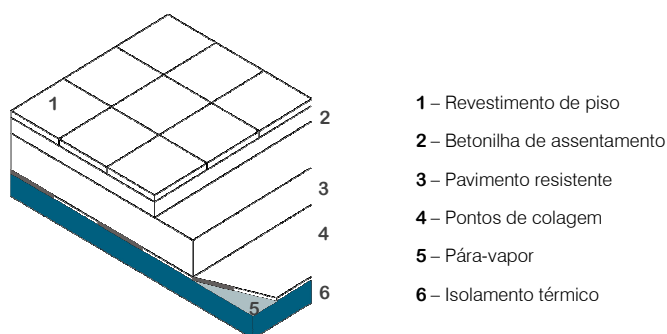
O facto de um pavimento estar em contacto com um espaço interior não aquecido, pode proporcionar ganhos térmicos, mas não o isenta da necessidade de reabilitação térmica. O reforço do isolamento térmico de pavimentos pode fazer-se mediante três opções distintas, que se caracterizam pela localização do material isolante a aplicar:

- Isolamento térmico aplicado na face inferior; (fig. 20 e 21)
- Isolamento térmico intermédio (limitado ao caso de pavimentos com vazios); (fig. 22 e 23)
- Isolamento térmico aplicado na face superior. (fig. 24)

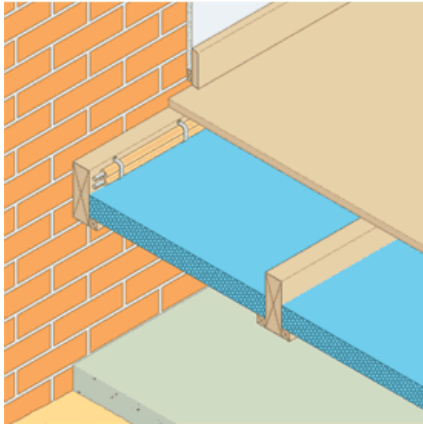
O ITE 50 do LNEC apresenta entre as páginas II.27 e II.57, um conjunto diversificado de soluções, com diversos tipos de materiais isolantes, espessuras, e localização do material. Desde que o espaço subjacente ao pavimento seja acessível, as soluções de isolamento térmico inferior são claramente preferíveis, porque para além de ser mais eficiente do ponto de vista térmico, são também de mais fácil e rápida aplicação e também de menor custo. Por outro lado, há que ter em atenção que as soluções de isolamento térmico superior, além de serem menos eficientes, reduzem o pé-direito do espaço habitável. De notar, que também na aplicação do isolamento térmico inferior também terá que se verificar se não haverá nenhum condicionalismo devido à redução do pé-direito do espaço subjacente.



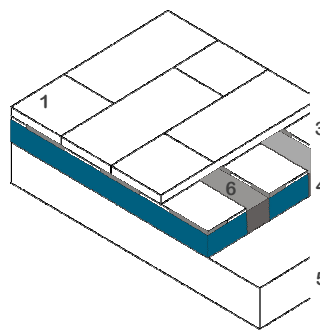
**Figura 20**  
Pavimento sobre espaço exterior –  
isolamento térmico inferior



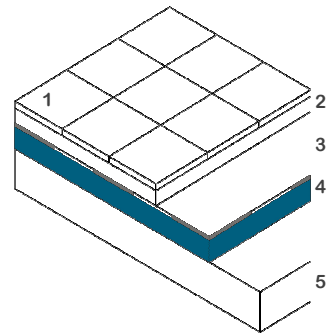
**Figura 21**  
Esquema – isolamento térmico inferior em pavimento sobre  
espaço exterior



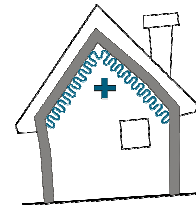
**Figura 22** Reabilitação de Pavimento  
Isolamento térmico intermédio



**Figura 23**  
Esquema – isolamento térmico intermédio



**Figura 24**  
Esquema – isolamento térmico face superior



#### 4.2.4 Reabilitação térmica das Coberturas

A cobertura é a parte dos edifícios sujeita a maiores flutuações térmicas. Está por isso entre os elementos da envolvente que mais condicionam o desempenho térmico dos edifícios. Enquanto no Verão é necessário evitar o sobreaquecimento das coberturas e a transmissão de calor ao interior, no Inverno é necessário evitar as fugas de calor para o exterior. Assim, o isolamento térmico de uma cobertura é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma medida simples e menos dispendiosa. As coberturas podem ser inclinadas ou horizontais. Qualquer que seja o seu tipo, é possível encontrar soluções de reabilitação térmica.

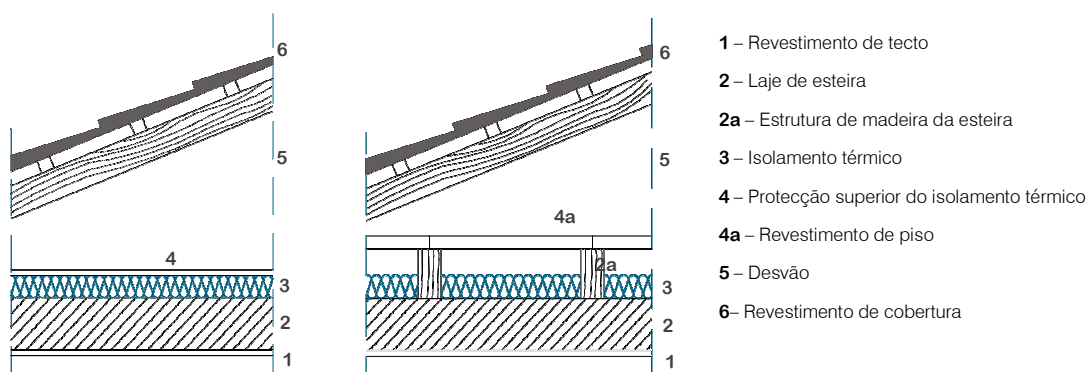
##### a.1) Coberturas Inclinadas

O reforço do isolamento térmico deste tipo de coberturas pode fazer-se segundo quatro opções possíveis, caracterizadas segundo a posição do isolamento:

- Isolamento aplicado na face superior da esteira do tecto (fig. 25);
- Isolamento aplicado na face inferior da esteira do tecto;
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição superior (fig. 26);
- Isolamento aplicado nas vertentes da cobertura, em posição inferior.

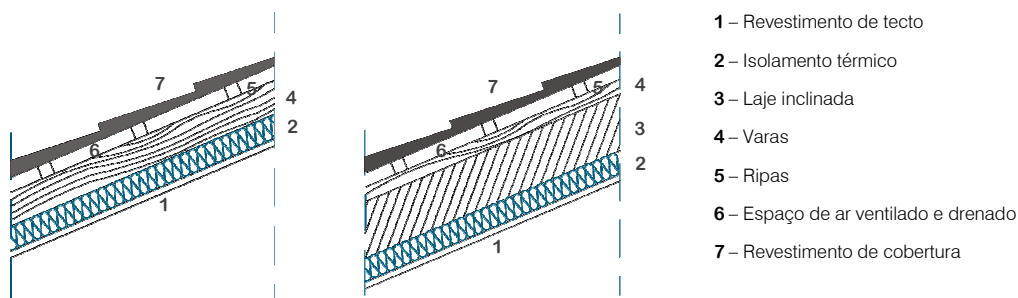
Estas soluções são apresentadas no ITE 50 do LNEC, entre as páginas II.54 e II.97. A solução mais económica será aplicar o material isolante sobre a esteira horizontal, por ser de mais fácil execução e possibilitar a maximização do aproveitamento do material. Se o desvão for acessível

convém protegê-lo com uma betonilha. Dado que o desvão não necessita de ser aquecido na estação quente, esta é a solução que possibilita também maior economia energética.



**Figura 25**  
Esquema – isolamento térmico na esteira do tecto

A aplicação do isolamento térmico, na face inferior da esteira, apresenta a desvantagem de não proteger a estrutura contra as variações térmicas, bem como favorecer as condensações internas. As soluções de aplicação do material isolante nas vertentes, devem ser reservadas aos casos em que o desvão seja habitável. Nessas condições, quando o isolante é aplicado imediatamente sob o revestimento da cobertura, há que prevenir a penetração da água da chuva através das juntas entre telhas. Para isso deve proteger-se superiormente o isolante com uma membrana pára-vapor, a qual impeça a passagem da água no estado líquido, mas não provoque condensações internas.



**Figura 26**  
Esquemas – isolamento térmico ao longo das vertentes

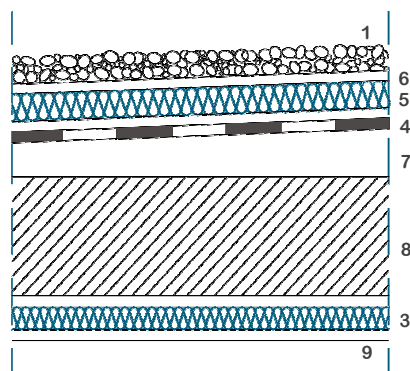
## a.2) Coberturas Horizontais

O reforço do isolamento térmico deste tipo de coberturas pode ser conseguido através de três opções possíveis, que se distinguem segundo um critério semelhante ao adoptado nos casos anteriores:

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior;

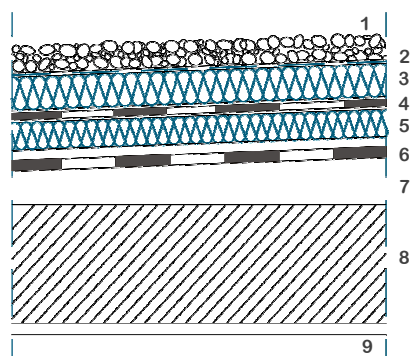
O ITE 50 apresenta dados sobre este tipo de coberturas entre as Páginas II.58 e II.73. A solução mais prática é aplicar o isolamento térmico na face superior da cobertura, acima da camada de forma, sob ou sobre a impermeabilização, funcionando no primeiro caso como suporte e no segundo caso como protecção térmica da impermeabilização (fig. 27 e 28). A segunda opção tem claras vantagens porque permite manter a cobertura existente (caso esteja em bom estado) e permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas e, eventualmente, da acção directa do Sol e da radiação ultra-violeta. Além disso em obras de reabilitação térmica de coberturas horizontais cuja impermeabilização se encontre em bom estado, a localização de isolante térmico sobre a impermeabilização dispensa que esta tenha de ser refeita, o que não acontece obviamente com a primeira solução. A sua aplicação deve fazer-se sobre uma camada de dessolidarização, a qual pode ser constituída por uma manta geotêxtil. Como material isolante pode utilizar-se placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), sobre as quais deve ser aplicada uma protecção pesada, a fim de impedir que estas se desloquem sob o efeito da acção do vento, bem como para as proteger da incidência directa da radiação solar.

A aplicação de um revestimento isolante térmico na face interior da cobertura, nos casos em que esta é caracterizada por uma laje, apenas é aceitável quando integrada num tecto falso desligada da esteira e, mesmo assim tem o inconveniente de não proteger termicamente a estrutura. A directa aplicação desse isolante contra o paramento inferior da laje é totalmente desaconselhável porque também contribui para agravar as deformações de origem térmica desta. Assim esta solução só deverá ser utilizada em situações em que seja impossível reparar a cobertura pelo exterior ou onde haja vantagens de aquecer rapidamente os espaços.



**Figura 27**  
Esquema – reforço isolamento térmico inferior – cobertura plana

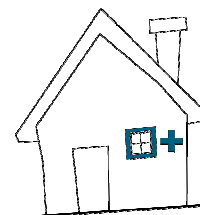
- 1 – Gravilha
- 2 – Geotêxtil
- 3 – Reforço de Isolante Térmico
- 4 – Impermeabilização
- 5 – Isolante Antigo
- 6 – Impermeabilização existente
- 7 – Camada de forma
- 8 – Laje
- 9 – Revestimento interior



**Figura 28**  
Esquema – reforço isolamento térmico superior – cobertura plana

As soluções em que o isolamento térmico se localiza em posição intermédia, entre a esteira horizontal e a camada de forma, embora possíveis, exigem o prévio levantamento da camada de forma existente e requerem especiais cuidados de concepção e de execução para evitar que ocorram fenómenos de choque térmico nas camadas sobrejacentes ao isolante térmico e as concomitantes fendilhação e degradação dos respectivos materiais. Esta opção do isolamento térmico em posição intermédia constitui uma solução remota em reabilitação, dado aos custos a que estão associados o levantamento da camada de forma, além dos inconvenientes acima mencionados.

#### 4.2.5 Reabilitação térmica dos Vãos Envidraçados



Os vãos envidraçados têm uma significativa influência no balanço energético dos edifícios, podendo as perdas térmicas nos edifícios de habitação oscilar de 35 a 40% na estação fria. Janelas e portas com vidros simples, ou com vidros duplos, sem corte térmico, podem provocar descidas substanciais na temperatura interior durante a estação fria, provocando situações de desconforto. Por isso a reabilitação de janelas e portas é essencial, podendo ser um factor decisivo para que sejam assegurados os requisitos de eficiência energética exigidos no novo RCCTE. Neste contexto interessa promover algumas medidas, as quais consistem essencialmente em:

- controlar as infiltrações de ar não desejadas através das juntas da caixilharia, por forma a melhorar o seu desempenho durante a estação fria, reduzindo as perdas de calor no interior e minimizando os problemas de desconforto devido à permeabilidade da envolvente;
- reforçar a protecção contra o excesso de radiação solar pelos envidraçados durante a estação quente, controlando os ganhos térmicos mediante a limitação da entrada de radiação solar através de dispositivos de protecção; minimizar o efeito das pontes térmicas que se estabelecem através dos aros e dos próprios envidraçados, reduzindo as trocas de calor associadas às amplitudes térmicas entre o interior e o exterior.

Para isso têm de ser adoptadas soluções compatíveis com as necessidades e com o grau de eficiência desejado. Há portanto que verificar se a caixilharia se encontra degradada a tal ponto que o seu reaproveitamento não seja viável, do ponto de vista construtivo e económico. Convirá ter presente que proceder à sua substituição integral no contexto de uma reabilitação, é sempre uma solução dispendiosa. Assim, o reforço do isolamento térmico de vãos envidraçados pode ser obtido através das seguintes medidas:



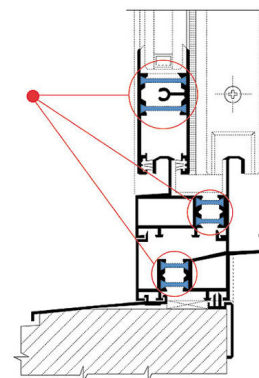
- Substituição dos elementos por outros com desempenho térmico melhorado, nomeadamente caixilharia com corte térmico e vidro duplo;

- Utilização de envidraçados com elevado desempenho térmico, nomeadamente vidros duplos com isolamento térmico reforçado através do recobrimento com uma camada de baixa emissividade. O *Manual do Vidro*, da Saint Gobain mostra que, mesmo para vidros duplos, o coeficiente de transmissão térmica pode variar entre  $U = 2,9 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  para vidro tradicional de 4 + 4 mm, e  $U = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  para vidro duplo de isolamento térmico, com a mesma espessura. A pior das conjugações de vidros duplos, ainda assim, melhora em muito as performances térmicas do melhor dos vidros simples: para estas é difícil obter transmissões térmicas  $U$  abaixo de  $5,8 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ .



**Figura 29**  
Duplicação da caixilharia com inclusão de sombreamento

Pontos de ruptura térmica executados em poliamida



**Figura 30**  
Pormenor de caixilharia como solução para substituição ou duplicação de vãos envidraçados

- Criação de janelas duplas, mediante a incorporação de um segundo caixilho (fig. 29). As perdas térmicas de Inverno e os ganhos solares de Verão são melhorados. A solução no entanto é aconselhada sobretudo para climas muito frios ou muito quentes. Tem a desvantagem de piorar a transmissividade luminosa.

- Substituição de vidros simples por vidros duplos. Há que verificar no entanto se a caixilharia se adequa a esta solução.

- Substituição do material vedante das juntas da caixilharia, das juntas móveis, ou das juntas do vidro/caixilho. Trata-se de uma operação de reduzido custo, com grande eficácia na redução das infiltrações de ar não controladas.

No âmbito da reabilitação dos vãos envidraçados há ainda que reduzir o coeficiente de transmissão térmica das caixas de estore. As caixas de estore são pontes térmicas planas que têm de verificar as mesmas condições de vigas e pilares. Para construções novas ou reabilitações profundas de paredes, podem aplicar-se caixas de estore pré-fabricadas em betão ou em material cerâmico, devidamente isoladas, ou caixas compostas inteiramente por material

isolante. Para reabilitação do existente, pode ser aplicado no interior das caixas um revestimento em poliestireno moldado ou em lã de rocha.

Na reabilitação de envidraçados merece especial atenção o controlo de ganhos solares durante a estação de arrefecimento, particularmente em regiões com estações quentes e longas, como acontece na generalidade do território continental português. Este controlo é da maior importância para minimizar o sobreaquecimento dos espaços interiores e reduzir ou eliminar a necessidade de dispositivos de arrefecimento mecânico. O controlo dos ganhos solares pode fazer-se essencialmente por três vias:

#### **a.1) Gestão da área de envidraçados:**

Quanto maior for a área de envidraçados, maiores serão os ganhos solares. No Inverno este factor beneficia a iluminação natural e o aproveitamento da radiação solar térmica, mas durante o Verão acarreta excesso de ganhos solares. Na figura 32 pode-se verificar a reabilitação de um edifício plurifamiliar que reduz e reorienta a área de envidraçado, de forma a minimizar os ganhos no Verão e minimizar as perdas de inverno. A arquitectura bioclimática procura adoptar soluções de aquecimento passivo na estação fria, em que o edifício funciona como um colector solar que capta, armazena e distribui calor pelos compartimentos (fig. 31). Isto pode ser realizado através da transformação de varandas em “marquises”, ou do aumento da área de envidraçados dos vãos orientados a Sul. A inércia dos elementos que compõem o edifício possibilita que funcionem como acumuladores térmicos que absorvem calor durante o dia, e o libertam à noite. Todavia há que ter em conta, que estas medidas têm inconvenientes na estação quente. Quando a área de envidraçados é superior a 15% da área dos compartimentos, pode originar excessivo aquecimento no interior dos edifícios nesta estação. Daí que seja necessário criar também um sistema de arrefecimento passivo que promova o sombreamento, e a ventilação natural.



**Figura 31**  
Caixilharias de alto desempenho térmico “Eco-Eficientes” com acumuladores de calor



**Figura 32**  
Reabilitação dos bairros Hortaleza – Madrid. Reorientação das janelas a sul

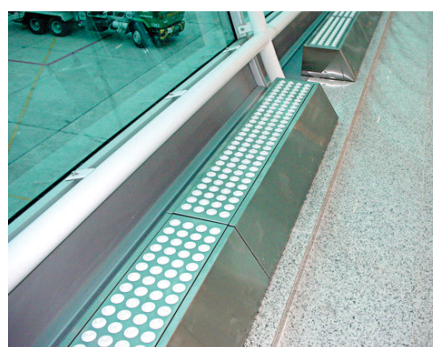
#### **a.2) Aplicação de envidraçados de baixa emissividade:**

As necessidades de isolamento térmico podem ser satisfeitas através da utilização de vidros duplos. Todavia, no que confere ao controlo dos ganhos solares, esta medida por si só, não constitui solução, sendo necessário utilizar vidros de “controlo solar”, com baixo factor solar,

como os vidros coloridos ou vidros reflectantes de cor escura (fig 31 e 32). Estes envidraçados têm também transmitâncias luminosas muito baixas, o que diminui a iluminação natural, factor que acarreta outros problemas com consequências no desempenho energético dos edifícios. A compatibilização do isolamento térmico com o controlo dos ganhos solares, sem pôr em causa a iluminação natural, só pode ser conseguida de forma eficaz com a utilização de envidraçados de elevado desempenho, como os revestimentos de baixa emissividade ou através da combinação de envidraçados de bom desempenho térmico, com dispositivos exteriores de protecção solar.



**Figura 33**  
Película Solar – rejeita a energia solar de 35% a 79%

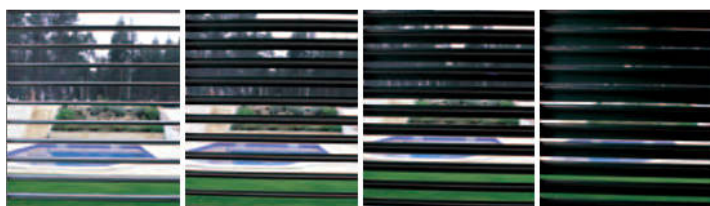


**Figura 34**  
Vidro de baixo emissivo – Reabilitação e ampliação do Aeroporto Santos Dumont, Brasil

### **a.3) Utilização de dispositivos de sombreamento eficazes, preferencialmente pelo exterior:**

O objectivo da aplicação de dispositivos de sombreamento consiste em controlar a radiação solar directa, de forma a assegurar condições razoáveis de conforto. O tipo e o grau de sombreamento a assegurar, depende de vários factores, entre os quais a orientação e a geometria dos vãos a sombrear.

Existem vários tipos de dispositivos de sombreamento, os quais podem ser aplicados pelo interior ou pelo exterior (fig 33 e 34). Os mais eficazes na redução dos ganhos solares são os exteriores. Os dispositivos interiores são de reduzida eficácia, e podem desempenhar sobretudo a função de protecção complementar dos dispositivos exteriores, bem como de controlo de admissão de luz natural e de privacidade.



**Figura 35**  
Sistema de sombreamento, lâminas de estores orientáveis, possibilidade de regular a luz interior sem oclusão total



**Figura 36**  
Lâminas orientáveis aplicadas pelo exterior

#### **4.2.6 Reabilitação térmica através do Controlo das entradas de Ar**

Tal como o reforço do isolamento térmico na envolvente do edifício, o controlo das infiltrações de ar contribui também para a redução das necessidades de consumo de energia, bem como para a melhoria das condições de conforto no interior dos edifícios.

Segundo o RCCTE a taxa ideal de ventilação é de 0,6 r.p.h. Quando a taxa de renovação é da ordem de 0,8 r.p.h., a solução é satisfatória, mas quando ultrapassa este factor, produz perdas térmicas que podem provocar situações de desconforto, quer na estação fria, quer na estação quente. As janelas, as portas, as caixas de estore e outras aberturas, são zonas críticas por onde o excesso de ventilação pode acontecer. Muitas vezes o controlo das infiltrações de ar requer a reparação, e eventualmente a substituição da caixilharia exterior. Há que ter em conta, também, que as caixas de estore são espaços fortemente ventilados que, para além de isolamento térmico, devem ser dotadas de vedantes que impeçam infiltrações de ar para o interior dos edifícios.

Devemos não só controlar as infiltrações, como conceber um sistema de ventilação que possibilite a saída do ar viciado e a entrada de ar novo, de modo a satisfazer as exigências de salubridade, e a disponibilidade de ar fresco indispensável nos ambientes interiores. Para isso será necessário intervir em diversos domínios. Em reabilitações ligeiras, a calafetagem de portas e janelas através da renovação do sistema de vedantes, pode, por si só, proporcionar ganhos significativos. Em intervenções mais profundas pode pensar-se numa solução tecnicamente mais eficiente. Quando a reabilitação envolve a substituição de janelas, há que ter em conta que o RCCTE passou a prever a sua classificação em classes de permeabilidade ao ar. Neste caso será preferível optar por caixilharia dotada de mecanismos de abertura que permitam a ventilação controlada do interior. Este objectivo pode ser conseguido com a instalação na caixilharia, ou no vidro, de grelhas auto-reguláveis, as quais através da acção do vento, limitam e controlam o caudal que as atravessa.

#### **4.2.7 Reabilitação energética através do recurso a tecnologias solares activas**

A directiva comunitária transposta pelo decreto-lei 80/2006, obriga a contabilizar todos os consumos energéticos importantes, entre os quais as necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias. O objectivo é favorecer a utilização de energias renováveis, entre as quais a energia solar, considerando ser aquela que está mais amplamente disponível para consumo doméstico.

A energia solar é uma energia limpa que favorece o abandono da utilização do petróleo dentro de uma escala assinalável, e representa um contributo enorme para da redução de emissões de CO<sub>2</sub>, diminuindo o consumo dos equipamentos convencionais utilizados no

aquecimento de água como são os esquentadores e caldeiras murais a gás e os termoacumuladores a gás e eléctricos.

Com o novo RCCTE, a instalação de sistemas solares para aquecimento de águas domésticas, nos novos edifícios, ou para grandes reabilitações, tornou-se obrigatória, sempre que haja terraços ou coberturas inclinadas orientadas entre os quadrantes sudeste e sudoeste. A regra prevê um metro quadrado de painel solar por morador, de forma a assegurar que os sistemas são dimensionados para satisfazer uma parte considerável do consumo de água quente. A fim de satisfazer as necessidades de consumo de águas quentes durante a noite, o sistema pode ser complementado com um reservatório isolado termicamente. O sistema de produção de Água Quente Solar pode ser utilizado também no aquecimento central, estimulando-se neste caso que a taxa de cobertura das necessidades de aquecimento cubra os 40%.

Quando a área de cobertura exposta à radiação solar é insuficiente para cumprir a regra de 1m<sup>2</sup> de painel por habitante, pode ser usada apenas 50% da área de telhado disponível. Esta regra ajusta-se sobretudo aos edifícios de apartamentos, onde a dificuldade de integrar um grande número de painéis solares na cobertura é evidente.

O contributo da energia solar térmica para o saldo energético global de cada edifício ou fracção autónoma, é calculado obrigatoriamente através do programa Solterm. A energia solar é um recurso endógeno gratuito. Em Portugal a disponibilidade de energia solar é elevada, situando-se bem acima da média europeia. O número anual médio de horas de sol em Portugal é de aproximadamente 2500 horas, sendo a variação entre o Norte e o Sul do país pouco significativa. Os painéis solares apresentam um enorme potencial para a produção de energia eléctrica, para o caso dos painéis fotovoltaicos. A energia solar fotovoltaica, resulta de um aproveitamento da luz do Sol (foto) para produzir corrente eléctrica (voltaico). A tecnologia já existe e pode ser instalada nas habitações novas e a reabilitar no momento em que se inicia a sua construção.

#### **4.2.8 Reabilitação energética dos sistemas e instalações**

Numa habitação pode existir uma grande variedade de equipamentos alimentados a energia eléctrica, em que o consumo energético depende da potência e do tempo de utilização. Os aparelhos que mais contribuem para o consumo energético são geralmente os que têm um maior tempo de utilização, como é o caso dos aparelhos de refrigeração (frigoríficos e arcas congeladoras), que representam mais de 15% do consumo total de energia numa habitação (DGEG, 2004). Contudo prevê-se que os equipamentos de ar condicionados (para arrefecimento do ambiente) e informáticos, assim como as máquinas de lavar e secar roupa, ainda com um consumo reduzido, venham a ter um peso cada vez mais significativo no balanço do consumo energético português (DGGE, 2004). Neste momento, tanto as fontes de iluminação como os equipamentos domésticos têm vindo a ser objecto de etiquetagem energética, de modo que os

consumidores finais sejam informados do real desempenho energético dos equipamentos que adquirem e assim optar por equipamentos de melhor desempenho segundo o tempo e frequência de utilização.

#### **4.2.8.1 Melhoria das condições de iluminação**

O consumo médio anual em iluminação por unidade de alojamento é de cerca de 370 kWh, equivalente a 12% do consumo de electricidade no sector residencial. No entanto, este é um uso com enorme potencial de economias de energia, não apenas pelo uso de equipamentos mais eficientes, como também pela utilização da iluminação natural. Com efeito, para além da poupança de energia que permite, a iluminação natural propicia maior bem-estar e uma melhor percepção visual dos objectos e, ainda, condições psicológicas mais favoráveis, dada a sua variabilidade em oposição à monotonia da iluminação artificial. Deve-se assim garantir condições de iluminação que permitam a minimização do recurso à iluminação artificial, sem por em causa o conforto térmico dos ocupantes.

No âmbito da reabilitação energética dos sistemas e instalações, interessa focar os factores ligados à eficiência energética dos equipamentos de iluminação artificial. As principais medidas de reabilitação energética através da iluminação, passam pela substituição de lâmpadas existentes por outras de eficiência mais elevada, e pela utilização de luz natural sempre que possível, sendo esta última, uma medida de poupança muito eficaz e sem qualquer acréscimo de custo para o consumidor.

Assim para conseguir uma instalação de iluminação eficiente e de alta qualidade, devemos considerar todos os parâmetros quantitativos e qualitativos:

- Níveis de iluminação
- Componentes da instalação
- Sistemas de controlo e regulação

##### **a.1) Manutenção dos níveis de iluminação**

Os projectos de iluminação realizam-se normalmente, estabelecendo níveis de iluminação inicial superior, segundo os ciclos de manutenção, que dependem da fonte de luz escolhida, assim como a possibilidade de absorver sujidades do mesmo. Com o tempo os níveis de iluminação inicial vão reduzindo devido à perda do fluxo da própria fonte de luz, assim como a sujidade acumulada nas lâmpadas, candeeiros, paredes, tectos etc. Deste facto, os ciclos de manutenção e limpeza devem ser realizados periodicamente, de forma a manter o nível de iluminação adequado às actividades que se realizam. A substituição das lâmpadas deverá ser equacionada justamente antes da redução deste nível mínimo, assegurando assim, que as tarefas se possam realizar segundo as necessidades visuais, evitando a necessidade de acender outro ponto de luz.

## **a.2) Componentes da instalação – tempo de ocupação do recinto**

Outro dos elementos básicos a considerar aquando a reabilitação energética na melhoria da iluminação refere-se ao estudo e à escolha dos componentes, tais como as fontes de luz e os equipamentos eléctricos necessários para o seu funcionamento. Quando se comparam sistemas que são equivalentes em termos de eficácia luminosa, a análise do custo inicial converte-se na solução mais simples. Contudo, a análise deverá não só calcular o custo inicial, mas também os custos de exploração previstos (energia e manutenção da instalação), entre outras razões, porque os custos da energia são um dos factores mais importantes no custo global da instalação.

O tempo de ocupação dos recintos e a escolha de sistemas de iluminação artificial eficiente, são pontos-chave para a melhoria das condições, sendo que estas se encontram directamente associadas ao consumo de energia eléctrica. Assim, quanto maior for a permanência da utilização da iluminação artificial, maior será a vantagem, em termos económicos e de consumo, da substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas energeticamente eficientes. Existem dois tipos básicos de lâmpadas energeticamente eficientes para a utilização em edifícios residenciais: lâmpadas fluorescentes tubulares (LFT) e lâmpadas fluorescentes compactas (LFC).

As lâmpadas fluorescentes tubulares devem ser instaladas com balastros de alta frequência permitindo, deste modo, eliminar o efeito de cintilação e aumentar em cerca de 20% a sua eficiência, quando comparada com balastros de baixa frequência (convencionais). As lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) podem durar até cerca de 12 vezes mais do que as lâmpadas incandescentes convencionais, usando apenas 25% da energia para um fluxo luminoso equivalente. Devem por isso substituir estas últimas sempre que possível, pese embora o seu custo inicial superior.

## **a.3) Sistemas de controlo e regulação**

Para além do conjunto formado pela lâmpada e balastro, que deve ser eficiente, existe uma série de dispositivos, denominados genericamente sistemas de regulação e controlo, que tratam de simplificar e automatizar a gestão das instalações da iluminação. Um dos sistemas automáticos, muito utilizado nos edifícios de habitação, em diversas zonas (garagem, escadas, etc.) é os detectores de presença. Dentro das principais vantagens dos detectores de presença podemos ressaltar a maximização do conforto e poupança energética, pois estas certificam que a iluminação será utilizada apenas quando for necessário.

### **4.2.8.2 Melhoria da eficiência dos sistemas de climatização**

A climatização é a categoria de usos de energia com maior crescimento, dada a conhecida situação de desconforto térmico em grande parte das residências portuguesas. Os dados no Censo 2001, confirmam a predominância de lareiras e sistemas de aquecimento portáteis (do tipo

aquecedores eléctricos, aquecedores a gás, etc.) nas habitações portuguesas, sendo o aquecimento o tipo de climatização mais generalizado. Contudo, o arrefecimento ambiente (ar condicionado) tem vindo a ter uma taxa de penetração crescente nos últimos anos, sendo o aumento anual cerca de 8%. O aumento da utilização de equipamentos para arrefecimento do espaço na Europa é preocupante, em termos ambientais, devido ao grande aumento do consumo energético, contribuindo para o excesso das emissões de CO<sub>2</sub> e o consequente aquecimento global. Assim, até a energia ser na totalidade proveniente de fontes renováveis, a climatização de espaços deveria ser reservada para as necessidades especiais e não para corrigir artificialmente uma inadequada qualidade térmica da envolvente, mas para dar resposta às necessidades térmicas nos períodos do ano com condições climáticas exteriores adversas.

Atendendo à simplicidade dos sistemas de climatização instalados nos edifícios de habitação, as anomalias encontradas normalmente estão relacionadas com a potência térmica dos equipamentos, normalmente desajustada às necessidades, um sistema de controlo inadequado comprometendo as condições de conforto e um baixo rendimento energético dos equipamentos, devido por exemplo a ausência da manutenção de caldeiras e equipamentos de ar condicionado, ou a utilização de equipamentos portáteis de classe energética baixa.

A selecção dos sistemas de climatização a instalar deverá equacionar a intermitência da ocupação dos espaços e das respectivas necessidades térmicas. Neste âmbito, devem ser seleccionados equipamentos com um tempo de resposta baixo para os edifícios parcialmente ocupados durante o dia (equipamentos com convecção forçada), evitando-se sistemas de maior inércia térmica (pisos radiantes), que são mais adequados para edifícios com ocupação permanente. Deste modo, na reabilitação de edifícios sem sistemas de climatização recomenda-se a instalação de sistemas de climatização fixos (aquecimento central com distribuição de água quente).

#### **4.3 BARREIRAS E DIFICULDADES**

As medidas limitadas exclusivamente aos aspectos técnicos são necessárias, mas não são suficientes para reduzir o consumo energético nos edifícios. Aquando a necessidade de determinar as medidas de melhoria energética, devem ser tomadas em conta as barreiras e dificuldades possíveis de encontrar no processo de reabilitação, considerando os custos e os benefícios a estes associados, de forma a permitir que os utilizadores finais adoptem as decisões com maior afirmação e consciência desde o ponto de vista ambiental, social e económico.

A Comunidade Europeia determina como âmbito prioritário o comportamento dos consumidores de energia em relação à eficiência energética e à poupança energética nos edifícios. Torna-se indispensável, por tanto, que os proprietários e arrendatários não entendam estas novas medidas comunitárias como uma nova taxa imposta sobre um bem primário como a habitação. Superar as barreiras legais, educativas e de alteração de hábitos dos utilizadores finais



e estimular a sua participação torna-se um desafio necessário, sendo que ditas barreiras dificultam a aplicação de medidas de melhoria energética. As barreiras e dificuldades que impedem uma utilização eficiente dos recursos energéticos nos edifícios são de natureza diversa, podendo ser agrupadas em três níveis:

- Um **nível social e cultural**: visível na mentalidade de quem projecta e constrói os edifícios e de compradores ainda pouco sensibilizados para estas questões – Barreiras comportamentais.
- Um **nível económico**: relacionado com a ideia de que os edifícios eficientes são edifícios de luxo, de avultados custos de investimento, associado à problemática do regime de propriedade – Barreiras económicas.
- Um **nível físico construtivo**: decorrentes da diversidade construtiva em Portugal, condicionando determinadas opções e medidas de reabilitação (conhecimento insuficiente do saber-fazer, parcerias empresariais insuficientes) – Barreiras técnico-construtivas.

De uma forma genérica, pode-se afirmar que as barreiras e dificuldades sentidas na projecção de edifícios energeticamente eficientes são predominantemente derivadas do profundo desconhecimento, por parte de todos os intervenientes, da viabilidade económica, social e cultural resultante desta acção.

#### **4.3.1 Barreiras comportamentais**

Uma das principais barreiras a salvaguardar para impulsionar e estabelecer a reabilitação residencial com critérios energéticos está relacionada com a falta de sensibilização, da sociedade em geral, em relação às consequências ambientais do consumo energético e em particular da relação existente entre o consumo de energia na habitação e as alterações climáticas. Desconhece-se a contribuição do sector residencial no consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub>, assim como a relação entre o desenho, a construção, a manutenção e uso dos edifícios na quantidade de energia que estes podem consumir e por conseguinte não se conhece também as soluções que se podem aplicar para a redução deste consumo.

De uma forma geral, a população é sensível à falta de conforto térmico ou com as péssimas condições de isolamento, contudo estão acostumados a adaptar-se a estas condições inferiores, sobretudo quando comparada com as habitações actuais construídas segundo as novas normativas térmicas, pelo que à falta de motivação pela poupança energética soma-se a falta de motivação por melhorar as suas condições de vida. Torna-se urgente colocar em prática alguns serviços de assessoria energética capazes de formar e convencer aos proprietários as vantagens e necessidades de reduzir a factura energética e renovar os edifícios com este fim.

Contrariamente às convicções comuns, há uma grande margem para aumentar a eficiência energética, não apenas nos novos edifícios, mas também nos já construídos. A promoção da

eficiência energética nas edificações e alteração de comportamentos deverá partir de uma acção articulada de entidades, especialistas e utilizadores, de forma a criar mecanismos de mobilização, consciencialização e disseminação dos princípios, características e parâmetros desta necessidade. A procura de maior eficiência energética possível nas edificações é técnica, económica ambiental e socialmente conveniente para o construtor, para o usuário, para além de beneficiar a sociedade como um todo. Mas para que ocorra, é necessário construir elos de responsabilidade entre os diversos actores, capazes de ultrapassar as principais barreiras e insuficiências existentes, nomeadamente a capacidade e vontade de actuação.

Em relação às entidades públicas que têm de impulsionar a reabilitação com critérios de poupança energética, se tem detectado uma escassa sensibilização que implica uma falta de integração específica dos critérios de poupança e eficiência nas políticas e na legislação. Apesar de existir planos estratégicos que trabalham especificamente na redução da factura energética, não existe uma integração transversal pelos distintos pontos de esses objectivos, que não chegam a materializar-se em propostas concretas nos distintos âmbitos e em particular na reabilitação.

Os técnicos e as empresas de construção precisam de adquirir também maiores conhecimentos técnicos sobre a eficiência energética no desenho e na construção de habitações no geral e na reabilitação em particular. Se pensarmos que neste momento a construção nova perde o protagonismo que tinha atingido nos últimos anos, a reabilitação e a eficiência energética são áreas técnicas que permitem diferenciar-se num mercado bastante competitivo, como é o mercado imobiliário.

Pode-se considerar como uma oportunidade no âmbito da comunicação o interesse crescente da sociedade pelos problemas ambientais no geral e em particular pelas alterações climáticas divulgadas pelos cientistas e os meios de comunicação e a contínua ameaça da subida dos preços dos combustíveis fósseis, que gera inúmeras páginas da comunicação social.

Existe actualmente o conhecimento e a tecnologia para reduzir a utilização de energia nos edifícios, ao mesmo tempo que se melhora os níveis de conforto, contudo será necessário adoptar uma abordagem holística, integrada entre as partes interessadas, de forma a transformar comportamentos e assim ultrapassar as barreiras de implementação da eficiência energética dos edifícios.

#### **4.3.2 Barreiras económicas**

No contexto económico, uma das principais barreiras está relacionada com o regime de propriedade das habitações, que é “atomizado”, sendo que não existem edifícios de um proprietário único, público ou privado. A maior parte das habitações estão habitadas por proprietários individuais ou arrendadas directamente pelos primeiros a outros particulares, com

situações económicas muito diferenciadas. Esta característica, implica que as decisões em relação à realização de investimentos que afectam as partes comuns dos edifícios, como são as envolventes térmicas ou as instalações térmicas, se têm de tomar por consenso da maioria dos integrantes do condomínio, e que na maioria dos casos este acordo é muito difícil, o que supõe uma importante barreira.

Esta característica do regime de propriedade poderia ser ao mesmo tempo uma oportunidade, se os proprietários usuários entendem a relação que existe entre a melhoria das condições térmicas e a revalorização do seu edifício, assim como as vantagens que uma reabilitação com critérios energéticos supõe desde o ponto de vista da poupança e da melhoria das condições de conforto e de qualidade de vida.

Para além das questões fundiárias, as políticas de habitação representam outra barreira económica à reabilitação de edifícios com critérios energéticos. As contribuições públicas, não incentivam a intervenção às partes comuns dos edifícios, será exemplo as medidas de incentivo à eficiência energética nacional expostas no Plano Portugal Eficiente 2015, que concedem os incentivos aos proprietários particulares, que por sua vez, preferem realizar as obras que lhes beneficiem mais directamente. Estas ajudas não favorecem o consenso entre os proprietários nem o colectivismo e no caso de este existir, a tramitação individual implica grandes dificuldades administrativas para o condomínio. Há que referir que não estão colocadas em causa as ajudas, mas sim a forma como são concedidas. Os incentivos económicos são necessários para romper com a inércia negativa inicial de redução do consumo de energia, porque, em primeiro lugar desconhecem-se as vantagens reais que se obtêm de uma reabilitação com critérios energéticos e em segundo lugar porque implicam um incremento considerável do investimento em relação às habituais intervenções de manutenção e reparação que se realizam nos edifícios existentes.

A principal barreira que se deve salvaguardar desde o ponto de vista económico será o financiamento das intervenções. Apesar da melhoria das condições económicas registada nas últimas décadas, o rendimento líquido mensal dos agregados familiares, de acordo com os resultados obtidos no Inquérito às Despesas das Famílias, deverá ser 1845€ (INE, Inquérito às Despesas das Famílias 2005/2006), o que indicia que as precariedades energéticas devem afectar uma percentagem não despreciable dos agregados familiares, sem qualquer alternativa de correr com tais investimentos. Ainda, a dificuldade de financiar as intervenções afecta não só os proprietários, mas também todos os intervenientes do sector da construção, que não têm garantias dos pagamentos dos custos da obra, pelo que geralmente não tentam convencer aos proprietários de realizar as intervenções para além das habituais, cujos custos podem ser assumidos com maior tranquilidade por parte de todos.

Por outro lado, o esforço financeiro médio anual para a reabilitação de um edifício estima-se que seja de 0,5% a 1% do valor do edifício a partir do período de garantia (LANZINHA, FREITAS, 2009), colocando-se a questão acerca da suficiência do fundo de reserva obrigatório na gestão

dos condomínios, calculado actualmente em 10%, que representa apenas segundo alguns estudos realizados de apenas 0,036% do valor patrimonial. Deste facto, ao valor das despesas correntes terá de ser adicionado um valor que garanta o fundo necessário para a reabilitação do edifício a médio prazo definido por uma sessão independente, sem esquecer que muitas famílias ainda se encontram com pesados encargos relativos ao crédito à habitação, descurando na maioria das vezes por insuficiência económica, a criação de um fundo de reserva utilizável para a reabilitação.

No caso de reabilitações de edifícios habitacionais, ocupados por arrendatários/inquilinos, a barreira económica persiste e até mesmo agrava-se, pois estes vêm-se defrontados com a falta de recursos financeiros dos proprietários, devido ao congelamento durante anos das rendas habitacionais. Supondo que o proprietário usufrui de condições económicas para suportar as despesas das medidas de aumento da eficiência energética (por exemplo, fechaduras novas, caldeiras de elevado rendimento, instalações para produção de energia limpa) coloca-se ainda outro problema, pois este pode não ser capaz de colher os benefícios de tais investimentos na medida que as poupanças em energia vão para o ocupante mesmo que o proprietário incorra no custo de investimento. Isto enfraquece o incentivo à eficiência energética.

#### **4.3.3 Barreiras técnico - construtivas**

Com o desejado aumento do nível de vida das pessoas, e consequente aumento do consumo energético leva, à primeira vista, a privilegiar a qualificação térmica na reabilitação do parque edificado, adoptando não só pela conservação do património histórico e artístico, mas também pela conservação da energia nos edifícios e a sustentabilidade da construção.

Desde logo na introdução ou no reforço do isolamento térmico, na “pele” do edifício que contacta com o exterior encontra algumas barreiras técnicas na sua implementação. Os problemas do isolamento térmico na reabilitação de paredes, construídas nos últimos cinquenta anos, diferem dos problemas que se levantam no caso das paredes mais antigas. Dois exemplos apenas para cada caso. No primeiro caso, as paredes duplas prejudicam a eficácia da colocação do isolamento na caixa-de-ar das paredes, seja pela argamassa de assentamento que ressuma das juntas, quer pela eficácia do preenchimento da caixa-de-ar com isolamentos injectados. A opção pelo isolamento do lado interior da habitação levanta o problema das pontes térmicas e o possível aproveitamento da inércia térmica interior. No segundo caso, o respeito por materiais de revestimento como o azulejo e por aros de cantaria, molduras ou frisos, pode encarecer muito a colocação do isolamento térmico pelo exterior, ou pode mesmo por questões de salvaguarda do património arquitectónico impedir a sua viabilidade.

Numa primeira abordagem pode-se afirmar que existe uma enorme dificuldade em generalizar as medidas de reabilitação energética dos edifícios devido à particularidade dos sistemas construtivos, determinados por descontinuidades no seu processo evolutivo que dificultam a sua

caracterização, dando origem a múltiplas soluções difíceis de gerir e decidir, colocando em causa qual a melhor solução para determinado sistema. A inexistência de uma cultura construtiva específica e as suas descontinuidades no processo dificultam a criação de uma base de dados necessários de análise à melhoria de eficiência energética do parque construído, que facilitaria a difusão e a informação do tema tanto para os especialistas como para os utilizadores finais das habitações.

Quando se analisa a possibilidade de incluir medidas de eficiência térmica-energética num edifício é importante não só considerar isoladamente o aspecto técnico, mas também o aspecto técnico - social alusivo à dificuldade de intervir em habitações ocupadas, sendo que, para além da perda de superfície, constitui sempre um problema entrar no domínio privado. Esta será sempre uma barreira que se deve evitar, procurando priorizar a actuação desde o exterior, sem necessidade de desalojar os ocupantes. Contudo esta solução oferece algumas limitações de intervenção em edifícios existentes de potencial interesse arquitectónico, que devem ser tomadas em conta procurando soluções eficientes capazes de diminuir o impacto e o tempo de execução das obras.

Tendo sido colocadas as barreiras técnicas gerais, segue-se uma abordagem mais específica, nomeadamente as questões ligadas à posição do isolamento térmico face a envolvente. A localização do isolamento a introduzir levanta algumas dificuldades de actuação, nomeadamente no que diz respeito às pontes térmicas e ao aproveitamento da inércia térmica das paredes existentes. À partida deve-se ter em conta que com o reforço do isolamento térmico agudiza-se a correcção das pontes térmicas, tanto mais quanto maior for o isolamento.. As pontes térmicas criam graves problemas de condensações superficiais que degradam a construção e, associadas a uma deficiente ventilação, dão origem ao desenvolvimento de fungos, em prejuízo do aspecto e da salubridade no interior. Sem esquecer que sendo extensivas podem baixar a temperatura radiante, agravando significativamente o conforto térmico e a carga térmica que lhe está associada.

Os problemas técnicos - construtivos da correcção das pontes térmicas nos edifícios mais antigos que usam alvenarias resistentes, colocam-se designadamente no perímetro dos vãos, nos edifícios mais recentes com a estrutura independente colocam-se também problemas em pilares e viga, nas fachadas heterogéneas que dificultam a colocação do isolamento térmico, e ainda nas juntas e caixas de estore.

Analisa-se as paredes, sem deixar de reconhecer a importância das barreiras e dificuldades sentidas com o isolamento térmico na reabilitação de vãos exteriores, pavimentos e coberturas, tendo em conta o seu contributo para a carga térmica do edifício e, directamente, para o conforto térmico no interior. A decisão de colocar o isolamento térmico na face exterior ou na face interior da parede deve ter conta alguns aspectos importantes associados à inércia e pontes térmicas,

uma integração que merece ser ponderada, em função não só das variações climáticas exteriores, mas também do regime de utilização dos edifícios.

Torna-se especialmente conveniente isolar pelo interior quando o edifício ou a habitação não são de ocupação permanente, caso típico das residências de uso sazonal. O isolamento pelo lado interior permite aquecer a habitação com maior rapidez e eficiência, pois o sistema de aquecimento acondicionará só o volume do ar da casa, o espaço interior. Em suma, esta solução permite obter uma massa e uma capacidade calorífica baixa fácil de aquecer. Com o isolamento pelo exterior, a habitação tardaria muito mais em conseguir a temperatura desejada, pois o sistema de aquecimento teria de aquecer uma massa muito maior. Ao contrário da solução anterior, uma vez obtida a temperatura desejada, a habitação isolada pelo lado exterior também demorará mais a arrefecer a temperatura no inverno ou aquecer no verão.

Por outro lado, isolar pelo lado interior torna-se uma operação muito delicada a correcção ou supressão das pontes térmicas, devido ao elevado risco de formação de condensações superficiais. Destaca-se que, ao isolar pelo lado interior, a parede da fachada encontra-se relativamente fria e, assim, qualquer área donde se interrompa o isolamento térmico, estará fria, abaixo do ponto de orvalho do ambiente interior, com muitas probabilidades de formar condensações. Em qualquer caso, será relativamente simples isolar as chamadas pontes térmicas planas inseridas em zona corrente da envolvente, como pode ser o caso de certos pilares, talões de viga e caixas de estore. Contudo, será praticamente impossível resolver as pontes térmicas lineares nos casos de paredes interiores intersectando a cobertura e pavimentos, quer sobre o exterior, quer sobre espaços não-úteis (locais não-aquecidos), nem nos casos de paredes interiores separando um espaço útil de um espaço não-útil adjacente. Também na zona das portas e janelas, é difícil garantir uma ligação eficaz do isolamento às caixilharias, o que dificilmente elimina a ponte térmica no enquadramento dos vãos. A situação que melhor previne o aparecimento de pontes térmicas é a do isolamento pelo exterior das paredes. Neste caso garante-se a continuidade do isolamento, as pontes térmicas são por ele recobertos e, por consequência, as trocas de calor minimizadas.

A execução de uma reabilitação, pelo lado interior, permite contudo, considerando as barreiras económicas referidas anteriormente face a intervenção nas zonas comuns dos edifícios, intervir apenas numa parte do imóvel, por exemplo, numa só habitação ou local particular. Por conseguinte, trata-se de uma obra de menor grau e em princípio, não requer, antes da intervenção, o consenso dos condóminos. No caso de edifícios protegidos como parte do património arquitectónico, intervir pelo interior será a única opção para executar a obra de reabilitação, pois não será possível intervir pelo lado exterior, dada a alteração que introduziria às fachadas. Porém, grande parte do património classificado como interesse arquitectónico encontra-se constituída por paredes de alvenaria de pedra e pavimentos de madeira, não

existindo nestes casos o problema de penetração por pontes térmicas, contudo a intervenção pelo lado interior anularia o contributo da inércia térmica.

A ventilação dos edifícios é, cada vez mais, um factor com enorme importância na performance energética das habitações. Principalmente nas obras de reabilitação energética, em que, para reduzir as perdas de calor, propõe-se um aumento da estanqueidade da envolvente dos edifícios, reduzindo assim a taxa de ar nas habitações. Como tal, ao reabilitar uma habitação, deve ser considerada esta barreira e prever sempre uma dada taxa de ventilação necessária, com vista à supressão de três tipos de necessidades: a qualidade do ar, o conforto térmico e a prevenção de riscos de condensação. Do mesmo modo, será igualmente importante considerar que a substituição das antigas caixilharias, por exemplo, a introdução de uma segunda caixilharia ou a aplicação de vidros duplos, atingindo praticamente a estanqueidade total, a fim de evitar transferências térmicas com o exterior diminui-se ou até mesmo anula-se a possibilidade de ventilar através destes elementos, sendo necessário estabelecer novos critérios para garantir as renovações de ar necessárias e evitar a formação de condensações.

As barreiras sentidas na reabilitação energética de edifícios residenciais são predominantemente derivadas de questões ligadas à diversidade do património edificado, ao ensino e conhecimento que se encontram numa fase inicial, as metodologias utilizadas e à legislação relativa a esta matéria. Para suprimir as barreiras mencionadas torna-se necessário aumentar o conhecimento e fomentar a alteração de comportamentos de todos os intervenientes, ampliar a difusão e comunicação com os proprietários das habitações para que façam parte do processo de reabilitação, criar uma base metodológica de identificação e catalogação das barreiras existentes introduzindo as boas práticas de actuação. A estratificação tipológica das barreiras aqui apresentada (social, económicas e técnicas) representam apenas uma base de reflexão, muitas outras existirão, e que exigem um trabalho de reflexão sobre as barreiras da reabilitação energética de edifício residências, possivelmente caracterizado por tipologias construtivas no parque construído português.



Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação  
Fátima Maria Gomes Jardim



## **CAPITULO 5**

### **METODOLOGIA**

#### **5.1 Metodologia Geral**

O presente Capítulo descreve a metodologia desenvolvida para atender ao propósito fundamental deste trabalho, que é avaliar várias medidas correctivas destinadas a superar as deficiências apresentadas nos edifícios existentes, em termos de desempenho térmico e nas suas necessidades nominais anuais de energia, tendo em conta a garantia das condições de conforto mínimas, potencial geradora de recurso a equipamentos de climatização.

Referia-se em capítulos anteriores que até ao último Recenseamento da População e da Habitação (2001) em Portugal 76,8% do total de alojamentos existentes foram construídos antes de 1990 (ano da publicação do 1º regulamento do comportamento térmico dos edifícios). Devido a amenidade do clima e à falta de exigências conducentes à realização de um satisfatório conforto higrotérmico, estes edifícios apresentam-se como altamente consumidores de energia. Neste contexto, associado a um parque edificado muito heterogéneo, de deficiências que variam muito de caso para caso, recorreu-se a dois casos de estudo - edifícios de habitação - representativos da construção corrente praticada em Portugal anteriores a 1990.

A metodologia compreende basicamente os trabalhos de caracterização do desempenho energético e o diagnóstico preciso das deficiências apresentadas, propondo soluções de reabilitação térmica e energética, percebendo se as mesmas reduzem o consumo de energia ao ponto de se tornarem económica e ambientalmente sustentáveis.

Os desenhos de apoio no Anexo A, apresentam a configuração espacial das diversas zonas que compõem os edifícios em estudo, bem como as áreas úteis de pavimento. A figura 35 apresenta um esquema geral da metodologia adoptada. Dos casos de estudo, seleccionaram-se duas fracções do edifício dos anos 40, a distintas orientações e em contacto com distintos espaços não úteis. Para o edifício dos anos 80, onde as condicionantes são mais exigentes, seguiu-se a mesma metodologia a fim de estabelecer o padrão máximo de consumo.

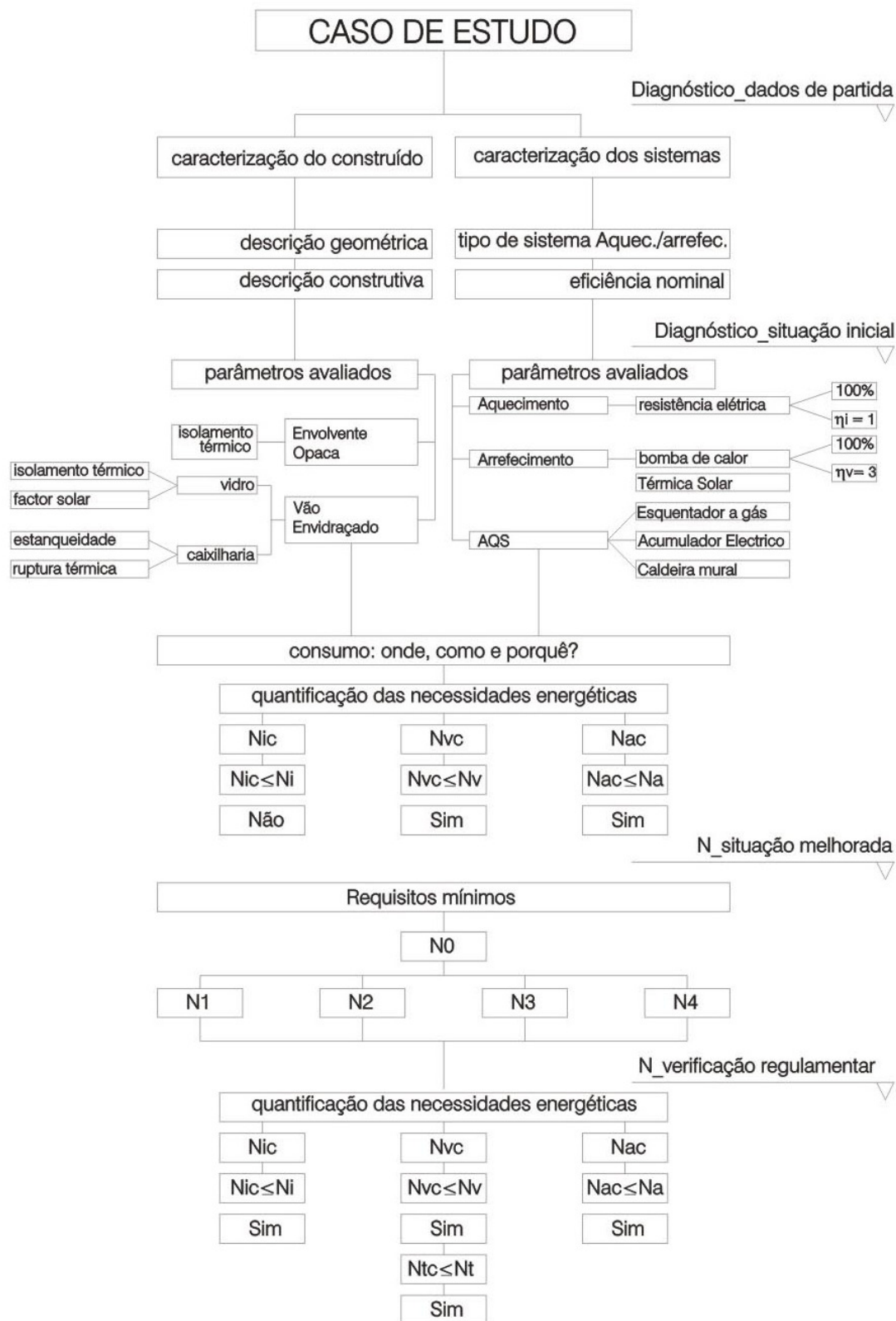


Figura 37 – Esquema Geral da Metodologia adoptada

Para a análise pretendida foram diagnosticados os dados de partida segundo duas vertentes, por um lado a caracterização do construído, pela descrição geométrica e o detalhe dos pormenores construtivos para cada edifício, a fim de caracterizar os elementos da envolvente pelo cálculo dos coeficientes de transmissão térmica, executado da seguinte forma:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_j + R_{se}} \quad \text{Equação 1}$$

e:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica e zona corrente do elemento construtivo;

$R_{si}$  e  $R_{se}$  – Resistências térmicas superficiais interiores e exteriores;

$R_j$  – Resistência térmica da camada  $j$ ;

$d_j$  – Espessura da camada  $j$ ;

$\lambda_j$  – Condutibilidade térmica do material constituinte da camada  $j$ .

A caracterização dos sistemas utilizados representa a outra vertente do estudo, utilizando como sistema de aquecimento a 100% equipamentos de resistência eléctrica ( $\eta_i = 1$ ) e para arrefecimento uma Bomba de calor - arrefecimento ( $\eta_v = 3$ ). No que se refere aos sistema de preparação de AQS, toma-se como existente um Termoacumulador eléctrico, ( $\eta_a = 0,95$ ). Note-se que, por se tratar de edifícios existentes a rede de distribuição de água quente interna às fracções autónomas não deve estar isolada e por conseguinte deve-se reduzir o factor de eficiência de conversão 0,10.

Após a recolha de dados, procurou-se diagnosticar o desempenho energético do edifício, contabilizando o consumo total de energia para as condições interiores de referência impostas no RCCTE. É na procura de respostas de onde, como e porquê se consome energia que se pode avaliar o desempenho energético do edifício e propor as melhorias necessárias.

A metodologia adoptada para as respostas anteriormente referidas estabelece-se através da aplicação da metodologia simplificada usada no actual RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Para a caracterização da performance energética dos edifícios, o RCCTE apresenta quatro índices fundamentais a quantificar: necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ( $N_{ic}$ ), para arrefecimento ( $N_{vc}$ ), para aquecimento das águas quentes sanitárias ( $N_{ac}$ ) e as necessidades globais de energia primária ( $N_{tc}$ ).

Dado que a análise dos impactes será feita na perspectiva de reabilitação energética de edifícios existentes, as necessidades de energia útil para aquecimento correspondem à situação mais desfavorável em termos de necessidades de energia, optando-se nesta apresentação por dar maior destaque a este índice. Esta opção justifica-se pelas reduzidas necessidades de

energia para arrefecimento nos edifícios existentes e pela imposição obrigatória do actual regulamento ao recurso de sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água quente sanitária, reduzindo substancialmente as necessidades de energia útil.

Através da quantificação das necessidades energéticas para aquecimento (N<sub>ic</sub>), de arrefecimento (N<sub>vc</sub>) e de preparação de água quente sanitária (N<sub>ac</sub>), procurou-se perceber *onde* se encontravam os consumos dos edifícios e analisar os coeficientes de perdas parciais e totais dos elementos. Pretende-se que a recolha destes resultados, sintetizem o comportamento energético dos edifícios, traduzido em parâmetros descodificáveis e que objectivamente possibilite a tomada de decisões de intervenção.

Tendo por base os resultados obtidos da análise das necessidades, pretende-se estipular um nível mínimo de intervenção capaz de cumprir o RCCTE, estabelecendo níveis de melhoria progressivos até encontrar a solução optimizada. Determinam-se as variações paramétricas para as quais se deseja simular o desempenho. Um dos parâmetros variados é o nível de isolamento (pelo lado exterior) da envolvente, cujo impacte teve de ser analisado em conjunto com outros parâmetros que também influenciam o desempenho térmico dos edifícios, nomeadamente a área envidraçada. A necessidade de fazer cumprir todos os parâmetros exigidos pelo regulamento determinou à partida a variação do coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados, que à semelhança do que acontece com a envolvente opaca sugere-se um aumento gradual de qualidade.

Assim, estipulam-se quatro (4) níveis de qualidade para a envolvente opaca, considerando o nível 1 (N1 - 40 mm de isolamento) como o mínimo desejável para cumprir com os valores máximos admissíveis de coeficientes de transmissão térmica regulamentados. O segundo nível (N2 - 60 mm de isolamento) estabelece como mínimo os valores de referência do mesmo regulamento, optimizando a solução com maiores níveis de protecção térmica nos níveis 3 e 4 (N3 e N4) com 80 mm e 100 mm respectivamente de isolamento. No que se refere à área envidraçada, as soluções ajustam-se a dois grandes categorias: por um lado, propõe-se a reabilitação térmica da caixilharia existente e por outro lado, a substituição integral do caixilho existente. Nas soluções propostas de reabilitação do existente encontram-se: o nível 1 (N1) que aumenta o número de vidros e o nível 2 (N2) que substitui o vidro existente por um vidro duplo isolante. Na proposta de substituição integral do caixilho apresenta-se os dois últimos níveis, ambos com caixilharia com corte térmico e vidro duplo, diferenciando-se apenas na composição na dimensão e tipo de gás na lâmina de ar. O nível 3 (N3) apresenta uma lâmina de ar de 12 mm e o nível 4 (N4) apresenta uma lâmina de gás (argón 85%) de 16 mm de espessura.

Os dados térmicos do vidro e da caixilharia encontram-se detalhados no Anexo B, a escolha dos vidros é concretizada pelo programa *Calumen* (SAINT-GOBAIN-GLASS) que calcula, de forma detalhada, as características e composições dos vidros.

Introduzindo estas variáveis, procede-se à verificação regulamentar para todos os níveis de qualidade, e quantifica-se novamente as perdas e, neste caso, os ganhos resultantes com a implementação em cada nível. Prossegue-se com a análise dos resultados confrontando-os com a situação inicial, de forma a estabelecer comparações passíveis de serem analisados a uma outra escala – a económica.

Considerando a obrigatoriedade de instalação de Sistemas térmicos solares para a preparação de água quente, entra-se no segundo grupo de variáveis, que dizem respeito às medidas activas de reabilitação energética e corresponde a séries de menor estudo feitas sobre os sistemas de climatização e preparação de águas quentes sanitárias, de forma a avaliar o peso atribuído a medidas activas no actual RCCTE, estudando variáveis ao nível do equipamento a propor. Avalia-se os resultados no sentido de perceber qual a solução otimizada.

## 5.2 Metodologia de cálculo simplificada das necessidades energéticas de aquecimento

O RCCTE considera que as necessidades de aquecimento ( $N_{ic}$ ) - por área útil de pavimento ( $A_p$ ) - são obtidas pelo balanço entre as perdas de calor pela envolvente, por condução ( $Q_t$ ) e por renovação de ar ( $Q_v$ ), e os ganhos de calor úteis ( $Q_{gu}$ ), de acordo com a equação 5.3.

$$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p \text{ [ kWh / m}^2 \cdot \text{ano]} \quad \text{Equação 3}$$

A metodologia de cálculo de cada um destes termos apresenta-se de seguida, de forma muito sintética.

1 –  $Q_t$  – as perdas de calor por condução são obtidas pela soma das perdas por zonas correntes (paredes, envidraçados, pavimentos e coberturas) em contacto com o exterior ( $Q_{ext}$ ) ou locais não aquecidos ( $Q_{lna}$ ), perdas por paredes ou pavimentos em contacto com o solo ( $Q_{pe}$ ) e perdas por pontes térmicas ( $Q_{pt}$ ):

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \text{ [ kWh / m}^2 \cdot \text{ano]} \quad \text{Equação 4}$$

sendo cada uma destas categorias de perdas obtidas como se indica:

$$Q_{ext} = GD \times 0,024 \times \sum_{i=1}^n U_i \times A_i \text{ [ kW / ano]} \quad \text{Equação 5}$$

$$Q_{lna} = GD \times 0,024 \times U_i \times A_i \times \tau_i \text{ [ kW / ano]} \quad \text{Equação 6}$$

$$Q_{pe} = GD \times 0,024 \times \sum_{i=1}^n \psi_i^* \times B_i \times A_i \text{ [ kW / ano]} \quad \text{Equação 7}$$

$$Q_{pt} = GD \times 0,024 \times \sum_{i=1}^n \psi_i^* \times B_i \text{ [ kW / ano]} \quad \text{Equação 8}$$

em que os diferentes parâmetros têm o seguinte significado:

$A_i$  - Área do elemento (m<sup>2</sup>);

$U_i$  - coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento (W/m<sup>2</sup>°C);

$GD$  - Graus-dias de aquecimento na base 20°C (°C dias) (função do local e tabelado anexo II do RCCTE);

$\tau$  - Coeficiente de redução das perdas térmicas associadas aos locais não aquecidos (Tabela IV.1 do RCCTE);

$B$ ;  $B^*$  - Desenvolvimento da ponte térmica linear (m); Perímetro do pavimento ou desenvolvimento da parede (m);

$\psi$ ;  $\psi^*$  - Coeficiente de transmissão térmica linear associado à ponte térmica (W/m°C) (Tabela IV.3 do RCCTE); coeficiente de transmissão térmica linear associado ao pavimento ou parede em contacto com o solo (W/m°C) (Tabela IV.2 do RCCTE).

2 –  $Q_v$  – as perdas de calor por renovação de ar (ventilação) são obtidas através da seguinte expressão:

$$Q_v = GD \times 0,024 \times (A_p \times P_d \times R_p \times 0,34) \quad [\text{kW} / \text{ano}] \quad \text{Equação 9}$$

em que:

$A_p$  - Área útil de pavimento (m<sup>2</sup>);

$P_d$  - Pé-direito (m);

$R_{ph}$  – taxa de renovação do ar horária (h<sup>-1</sup>) (Quadro IV.1 do RCCTE).

3 –  $Q_{gu}$  – os ganhos úteis são obtidos através do produto dos ganhos brutos ( $Q_g$ ) pelo factor de utilização dos ganhos ( $\eta$ ), como mostra a equação 5.10:

$$Q_{gu} = \eta \times Q_g \quad [\text{kW} / \text{ano}] \quad \text{Equação 10}$$

sendo os ganhos brutos, por sua vez, o resultado da soma dos ganhos internos ( $Q_i$ ) (nomeadamente devidos à ocupação e utilização de equipamentos, com excepção dos de climatização) com os ganhos solares ( $Q_s$ ):

$$Q_g = Q_s + Q_i \quad [\text{kW} / \text{ano}] \quad \text{Equação 11}$$

Estas duas categorias de Ganhos são obtidas a partir das seguintes expressões, respectivamente:

$$Q_i = q_i \times M \times A_p \times 0,720 \quad [\text{kW} / \text{ano}] \quad \text{Equação 12}$$

$$Q_s = G_{sul} \times M \times \sum_j \left( X_j \times \sum_n A_{snj\pm} \right) \times M \quad [\text{kW} / \text{ano}] \quad \text{Equação 13}$$

Nestas equações os diferentes parâmetros têm as seguintes definições:

$q_i$  - ganhos térmicos internos médios por área útil (W/m<sup>2</sup>) (Quadro IV.3 do RCCTE);

$M$  - duração média da estação de aquecimento (meses) (Anexo II do RCCTE);

$G_{sul}$  - valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária (kWh/m<sup>2</sup>.mês) (Quadro III.8 do RCCTE);

$X_j$  - factor de orientação para as diferentes exposições (Quadro IV.4 do RCCTE),  
 $N$  - é o índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação  $j$ ;  
 $As_{nj}$  - área efectiva colectora da radiação solar da superfície  $n$  que tem a orientação  $j$  (em  $m^2$ )

em que:

$$A_s = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp} \quad [m^2]$$

**Equação 14**

$A$  - área do envidraçado ( $m^2$ );

$F_g$  - factor fracção envidraçada, que contabiliza a redução da transmissão de radiação solar devido ao caixilho do envidraçado (Quadro IV.5 do RCCTE);

$F_w$  - factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados; este factor é 0,9 para vidros simples e duplos, enquanto que para vidros especiais devem ser utilizados os valores fornecidos pelos fabricantes;

$g_{\perp}$  - factor solar do envidraçado, obtido consultando a Tabela IV.4.1 e IV.4.2 do RCCTE, relativamente a superfícies de vidro ou de plástico, respectivamente;

$F_s$  - factor de obstrução, que contabiliza a redução da transmissão de radiação solar devido a vários obstáculos, dado pela equação 5.15:

$$F_s = F_h \times F_0 \times F_f$$

**Equação 15**

sendo:

$F_h$  - factor de obstrução por obstáculos exteriores ao edifício (Tabela IV.5 do RCCTE);

$F_0$  - factor de obstrução por elementos horizontais sobrepostos ao envidraçado, como palas e varandas (IV.6 do RCCTE);

$F_f$  - factor de obstrução por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, como palas e corpo do edifício (Tabela IV.7 do RCCTE).

O factor de utilização ( $\eta$ ) depende da inércia térmica do edifício, traduzida por um factor ( $a$ ) - igual a 1,8 para inércia térmica fraca, 2,6 para inércia térmica média e 4,2 para inércia térmica forte - e da relação ( $\gamma$ ) entre os ganhos térmicos e as perdas térmicas do edifício, da forma que se indica:

$$\eta = \frac{1 - \gamma a}{1 - \gamma a + 1} \quad \text{se } \gamma \neq 1$$

**Equação 16**

$$\eta = \frac{a}{a + 1} \quad \text{se } \gamma = 1$$

**Equação 17**

e:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos térmicos brutos}}{\text{Nec. Brutas de aquecimento}}$$

**Equação 18**

A classe de inércia térmica interior do edifício é obtida a partir de um índice de massa superficial útil obtido pela equação 5.18:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \times S_i}{A_p}$$

**Equação 19**

em que:

MSi - massa superficial útil do elemento i (kg/m<sup>2</sup>), obtida de acordo com o princípio de cálculo descrito no Anexo VII do RCCTE;

Si - área da superfície interior do elemento i (m<sup>2</sup>);

Ap - área do pavimento (m<sup>2</sup>).

Consoante a gama de valores deste índice, a classe de inércia térmica interior é por sua vez definida de acordo com a Tabela 3 (Quadro VII.6 do RCCTE).

Classe de inércia	Massa superficial x m <sup>2</sup> da área do pavimento
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq$
Forte	$I_t > 400$

### 5.3 Metodologia de cálculo para a análise económica

A avaliação das características de construção e respectivos consumos energéticos é especialmente importante quando se pretende considerar os requisitos de eficiência energética, procedendo-se assim ao estudo das condições que garantam a conformidade técnica da mesma.

A solução técnica construtiva de uma medida a escolher para a reabilitação energética de um edifício de habitação prende-se com o valor mínimo da secção que satisfaz os requisitos de desempenho e eficiência energética. Assim, escolhidos os quatro níveis de qualidade, determinados segundo a lógica de um aumento gradual no reforço térmico da envolvente, garante-se um melhor desempenho energético e uma redução do consumo de energia anual para cada caso de estudo.

Existe no entanto outra secção possível e importante na escolha de qualquer medida de melhoria térmica e energética. A secção económica refere-se ao valor da medida que conduz à melhor solução no plano económico, determinada com base no custo total, tendo em conta o investimento inicial, o custo capital, o custo da energia, as poupanças resultantes, e a taxa de actualização destes factores ao longo do tempo.

#### 5.3.1 Princípio de cálculo para a análise de custo/benefício

Interessa perceber se os benefícios obtidos com a implementação das soluções propostas superam os custos associados. O rácio de benefícios / custos obtêm-se da aplicação da seguinte

$$\text{equação: } B/C = \frac{\sum \text{benefícios}}{\sum C_{\text{inicial}}} \quad \text{Equação 20}$$

No estudo realizado considerou-se que o somatório dos benefícios é dado pela poupança energética (kWh/ano) ao fim de 8 anos. Para que os benefícios inerentes às soluções adoptadas



possam ser consistentemente comparados com os seus custos todos os valores deverão ser actualizados para um mesmo momento. Na análise efectuada todos os valores foram actualizados para o momento em que se realiza o investimento inicial. Para a actualização dos valores considera-se uma taxa de rentabilidade (4 % ano), tendo por base o histórico referencial das taxas de juro Euribor [<http://pt.euribor-rates.eu>].

A aplicação de reforço térmico na envolvente do edifício a reabilitar terá um custo inicial que será tanto maior quanto maior for a área de actuação. Há ainda uma parcela de custo independente destes dois parâmetros, refere-se aos custos fixos associados ao projecto e outros administrativos e técnicos que não foram contemplados, perante inexistência, neste momento, de qualquer regra de cálculo dos honorários de projectos de obras públicas e privadas.

Pode-se então definir uma expressão com aproximação aceitável para o investimento inicial para uma medida de reabilitação ( $C_i$ ):

$$C_i = c' \times A \quad (\text{€} / \text{m}^2) \quad \text{Equação 21}$$

Com,

$C_i$  – custo inicial de aplicação (€) das medidas de reforço térmico;

$c'$  – custo (€/m<sup>2</sup>)

$A$  – área de actuação (m<sup>2</sup>)

O custo por m<sup>2</sup> de todas as medidas de reforço térmico a aplicar, já inclui a colocação de andaimes para a sua aplicação e a taxa de IVA em vigor.

### 5.3.2 Princípio de cálculo para o período de recuperação do investimento

Calculado o investimento inicial de cada medida para os níveis de qualidade propostos e o consumo de energia para o ano 0, relativo a cada edifício em estudo, estabelece-se o modelo económico - base que melhor se enquadra neste estudo, o método desenvolvido pela ASHRAE, que através da variação da espessura do isolamento comparando com a diminuição das necessidades de aquecimento/arrefecimento encontra o valor máximo das poupanças económicas, (ASHRAE, 1997). Assume-se este modelo - base para a projecção do modelo económico proposto capaz de perceber o ponto, em que o custo de todos os elementos de isolamento podem igualar o custo presente de toda a energia necessária para aquecimento, ou seja define-se quando o investimento gera um resultado positivo. Para a previsão do cálculo em que os ganhos igualam as perdas, pode ser utilizada a seguinte expressão:

$$C_i = \frac{P_a \cdot C_{aq} \sum_{i=1}^n FAE}{\eta_{aq}} \quad \text{Equação 22}$$

Com,

$C_i$  – custo inicial de aplicação das medidas de reforço térmico, (€);

$P_a$  – poupança de energia, por unidade (kWh/ano);

$C_{aq}$  – Custo de energia para aquecimento (€/kWh);

FAE – Factor de actualização de energia para aquecimento;

$\eta_{aq}$  – Eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento

$$FAE = \left[ \frac{1 + T_{AAE}}{1 + T_j - T_{AAE}} \right]^i \quad e \quad R = \left[ \frac{1 + T_{AAE}}{1 + T_j - T_{AAE}} \right] \quad \text{Equação 23 e Equação 24}$$

Com,

$T_{AAE}$  – taxa do aumento anual do custo da energia;

$T_j$  – Taxa de juro;

$i = 1, \dots, n$ ;

$R$  = taxa de actualização da energia para o ano 0.

Por deduções matemáticas aplicando a regra da soma de uma progressão geométrica e as regras dos logaritmos temos que  $n$  é dado pela seguinte equação:

$$n = \frac{\ln \left[ \frac{C_i \cdot \eta_{aq} \cdot (R - 1)}{P_a \cdot C_{aq} \cdot R} + 1 \right]}{\ln(R)} \quad \text{Equação 25}$$

Com,

$n$  = representa o ano em que se dá a igualdade na equação 25.

Para o cálculo foi considerado uma taxa de crescimento anual do custo da energia em 2,5% considerando a progressão de anos anteriores (ver Cap. 6.5.1), uma taxa de juros a 4,00% e o rendimento global das instalações mecânicas, por resistência eléctrica designado por  $\eta$ , destinadas ao aquecimento ambiente é 1, valor atribuído no actual RCCTE para os sistemas de resistência eléctrica. Com a aplicação destas expressões é possível identificar o momento em que o custo inicial de aplicação de isolamento térmico na envolvente do edifício gera um resultado positivo, ou seja o ponto, em que o custo de todos os elementos de isolamento pode igualar o custo presente de toda a energia necessária para aquecimento.



Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

## CAPÍTULO 6

### CASOS DE ESTUDO – AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

No presente capítulo avalia-se o desempenho energético de dois edifícios de habitação, de construção corrente em Portugal, anteriores ao antigo regulamento RCCTE, e estudar as potencialidades existentes de uma reabilitação energética. Segue-se o esquema geral da metodologia descrita no capítulo anterior (ver fig. 37) presente nas diversas secções deste capítulo. As secções 6.1 e 6.2 apresentam os casos de estudo, segundo os dados gerais, o zonamento climático, a caracterização geométrica e a caracterização térmica da construção.

Para a caracterização da performance energética dos edifícios, como já foi referido anteriormente, o RCCTE apresenta quatro parâmetros fundamentais: necessidades de aquecimento, necessidades de arrefecimento, necessidades para aquecimento das águas quentes sanitárias e o índice correspondente à energia primária. Importa aqui, sublinhar que a análise dos impactes será feita na perspectiva do consumo energético dos edifícios em estudo e considera-se fundamental a relevância dada ao primeiro daqueles quatro índices, correspondendo à situação mais desfavorável na vertente da poupança de energia em edifícios. Apesar do consumo energético de preparação de águas quentes sanitárias ser igualmente relevante, a obrigatoriedade imposta pelo actual regulamento RCCTE de se instalar painéis solares para a produção de águas quentes sanitárias, sempre que a cobertura tenha uma vertente virada a Sul, este índice fica salvaguardado, considerando que os edifícios em estudo oferecem condições para a instalação de painéis solares.

Posto isto, a elaboração de um projecto de reabilitação energética de um edifício deverá ter em conta como objectivo principal a obtenção de um diagnóstico energético da situação (secção 6.3). Entendendo que as perdas térmicas de um edifício produzem-se sob duas condições: uso intensivo das instalações (sistemas de AQS, iluminação, etc.) junto a um comportamento dissipativo do edifício. Nesta sequência o presente estudo analisa a situação actual segundo estas duas condições. Por um lado, quantifica-se as trocas energéticas associadas à envolvente térmica do edifício (secção 6.3.1), destaca-se o cálculo de energia útil para aquecimento (secção 6.3.2), e por outro lado, quantifica-se o consumo de energia associado aos sistemas e instalações, nomeadamente o sistema de preparação de águas quentes sanitárias (secção 6.3.3). Na secção 6.3.4 expõe-se a quantificação geral das necessidades energéticas dos casos de estudo e a verificação regulamentar. Finalmente, segue-se uma análise e discussão dos resultados (secção 6.3.5) de forma a avaliar as deficiências apresentadas identificando, se possível, as causas.

Tendo por base os resultados obtidos define-se os aspectos que são necessários intervir para a melhoria do desempenho energético dos edifícios (secção 6.4). Numa primeira análise expõe-se os dados e requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente (secção 6.4.1), segue-se o método aplicado para a situação actual, atendendo aos factores associados à

envolvente térmica da envolvente (secções 6.4.2 e 6.4.3) e aos factores associados aos equipamentos e instalações (secções 6.4.4 e 6.4.5). Apresenta-se a quantificação dos indicadores de desempenho energético  $N_{ic}$ ,  $N_{vc}$ ,  $N_{ac}$  e  $N_{tc}$  na secção 6.4.5, sendo posteriormente discutidos e analisados os resultados na secção 6.4.6.

Por último importa avaliar a viabilidade económica das soluções propostas de requalificação energética (secção 6.5) associando o investimento inicial necessário face à redução do consumo energético. Importa aqui destacar que a análise económica realizada atendeu só e unicamente às necessidades de aquecimento durante toda a estação, seguindo a metodologia de cálculo do RCCTE. Assume-se as condições de conforto de referência da temperatura do ar de 20°C para toda estação de aquecimento, não tendo em conta os padrões habituais de utilização dos sistemas de climatização, pois pretende-se assegurar as condições de conforto máximas.

Apresentam-se os dados e pressupostos para a análise económica (secção 6.5.1) e estuda-se o custo de energia ao longo do tempo (secção 6.5.2). Realiza-se uma avaliação económica sob dois indicadores financeiros: a análise benefício/ custo (secção 6.5.3) e o período de recuperação do investimento (secção 6.5.4). Uma vez quantificados os indicadores financeiros, seguindo a metodologia indicada no capítulo anterior (secções 5.3.1 e 5.3.2), procede-se à análise e discussão dos resultados (secção 6.5.4). Finalmente na secção 6.5.5 abordam-se as limitações da análise económica.

## 6.1 CASO DE ESTUDO 1

### 6.1.1 Descrição do caso de estudo 1 – Rua da Chavinha

O primeiro caso de estudo a ser analisado situa-se na cidade de Vila Nova de Gaia, na freguesia de Vilar do Paraíso, mais precisamente na Rua da Chavinha (fig. 38 e 39), caracterizada por construções de cariz rural - urbano, de habitações unifamiliares intercaladas com edifícios plurifamiliares de vários pisos. A implantação do edifício corresponde a uma estrutura rectangular, ligeiramente estruturada (fig. 38 e 39), paralela em relação à rua, seguindo a orientação Sudeste e Noroeste. O bloco compõe-se por três pisos, sendo dois destinados à habitação e um destinado a garagens e arrumos. Cada pavimento alberga duas habitações do tipo T2, de aproximadamente 60m<sup>2</sup>, compostas por dois quartos, sala, cozinha, quarto de banho, uma despensa e arrumos. As variações de cota do terreno são absorvidas pelo piso da cave, que se encontra ligeiramente mais elevado, aproveitando a elevação para as garagens e arrumos. O acesso às habitações realiza-se por escadas de tiro individuais, segundo o esquema de acesso/directo, não existindo espaços interiores comuns. A Noroeste existe ainda uma zona de acesso individual para cada fogo e lugares de estacionamento exterior.



**Figura 38** Identificação das fracções

**Figura 39** Planta de Implantação. Caso de Estudo 1

O estudo recai sobre as fracções A e D, pois considera-se estas as situações mais desfavoráveis, onde os fluxos térmicos podem ser mais extremos, e assim poder estudar globalmente as soluções de reabilitação possíveis. O fogo A, disposto no quadrante Sul, contacta inferiormente com um local não aquecido – a garagem – e parte do pavimento assenta

directamente sobre o solo. A fracção D, voltada ao quadrante Norte, contacta inferiormente com a fracção “C” e um local não aquecido – a cobertura. O edifício é considerado como sendo de inércia térmica forte, em linha com a construção corrente praticada em Portugal. De seguida serão apresentados alguns traços característicos da solução construtiva, e a sua pormenorização será feita na parte que lhes corresponde neste trabalho.



**Figura 40**  
Vista Sudeste do edifício – fachada principal.  
Caso de Estudo 1



**Figura 41**  
Vista Noroeste do edifício.  
Caso de Estudo 1

A estrutura de suporte é constituída por paredes portantes de granito (perpeanho de 0,28 m) sobre as quais pousam as lajes de betão. A memória descritiva e os desenhos do projecto de estabilidade consultado no processo de obras referem apenas a utilização de betão nos acessos – escadas e patamares. Os pavimentos são constituídos por lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas a que acresce uma betonilha de regularização e um acabamento em tacos de madeira, excepto cozinhas, banhos, arrumos e despensa, que são em material cerâmico. O detalhe das paredes de granito varia de acordo com as situações. No envasamento com a pedra à vista, foi usada uma cantaria aparelhada com 35 cm de espessura, nos pisos superiores, as pedras foram rebocadas e são de perpeanho de 28 cm. O volume principal sobressai ligeiramente relativamente ao envasamento, existe um desaprumo das paredes de 5 cm na face exterior. As divisórias interiores são em tijolo furado de 7cm. A cobertura é inclinada, composta por várias águas, assente na laje de tecto através de uma estrutura de madeira revestida a telha cerâmica. Os vãos envidraçados têm por base caixilhos em madeira “mussibi” envernizada com vidro simples, servidos de estores exteriores como dispositivo de oclusão nocturna. As caixas de estore são em betão, conformam as padieiras dos vãos bem demarcadas na leitura da fachada.

estrutura

pavimentos

paredes

cobertura

vãos

As fracções autónomas não são providas de qualquer sistema de climatização – aquecimento ou arrefecimento. Utilizam aquecedores de resistência eléctrica para aquecimento ambiente no Inverno. A produção de água quente sanitária é produzida por intermédio de termoacumuladores eléctricos de 60lts, possuem uma potência de 1,6 kW. Pela antiguidade do imóvel crê-se que as tubagens de abastecimento não se encontram isoladas. Em cada uma das instalações sanitárias

sistemas de climatização

AQS

existe apenas ventilação forçada com saída para a cobertura, e neste momento não é provido de qualquer tipo de sistema de ventilação nas cozinhas, apenas existem chaminés de extracção de fumo.

ventilação

Os princípios gerais que guiaram a concepção construtiva do edifício, segundo as características referidas, apontam para um edifício misto de alvenaria de pedra e betão armado, específico das construções das décadas de 20 até 40 (ver Cap. 3.1.5). Contudo, segundo o processo de obras consultado no Arquivo da Câmara Municipal de Vila Nova de Gaia o edifício teve início do processo de construção em 1967, obtendo a licença de utilização em 1970.

concepção  
geral

### 6.1.2 Zonamento Climático

O RCCTE divide o país em três zonas climáticas distintas de Inverno (I1, I2 e I3) e de Verão (V1, V2 e V3). No presente caso, o edifício em estudo localiza-se em Vila Nova de Gaia, que se integra na zona climática I2-V1 Norte.

A cota de implantação do edifício, segundo a planta topográfica, aponta para uma altitude de 97,1 m, sendo <400 m não sofre qualquer alteração da zona climática. Segundo o quadro III.1 a duração da estação de aquecimento será de 6,7 meses e um número de graus-dias de aquecimento igual a 1640 °C.dia, a temperatura exterior de projecto de Verão será 30°C, com amplitude térmica média diária do mês quente de 10°C. De acordo com o Quadro III.8 do RCCTE a Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (G<sub>sul</sub>) é de 93 kWh/m<sup>2</sup>.mês.

Os valores médios da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro), segundo o quadro III.9 do RCCTE são: V1N - 19, (SE - 430 kWh/m<sup>2</sup>, NW - 300 kWh/m<sup>2</sup>, SW - 430 kWh/m<sup>2</sup>, NE - 300 kWh/m<sup>2</sup>.

### 6.1.3 Caracterização geométrica

Cada um dos pisos é composto por duas fracções individuais, de tipologia de acesso-directo, com área bruta de construção de 165.5 m<sup>2</sup> e área útil que varia entre os 59 e os 67 m<sup>2</sup>. O zonamento é distribuído entre hall, sala, cozinha, despensa, instalação sanitária, arrumos, circulação e dois quartos. As duas fracções em estudo – fracção “A” situada no piso 0 tem exposição solar SE - SW – NO e a fracção “D” (piso 1) será SE – NE – NO.



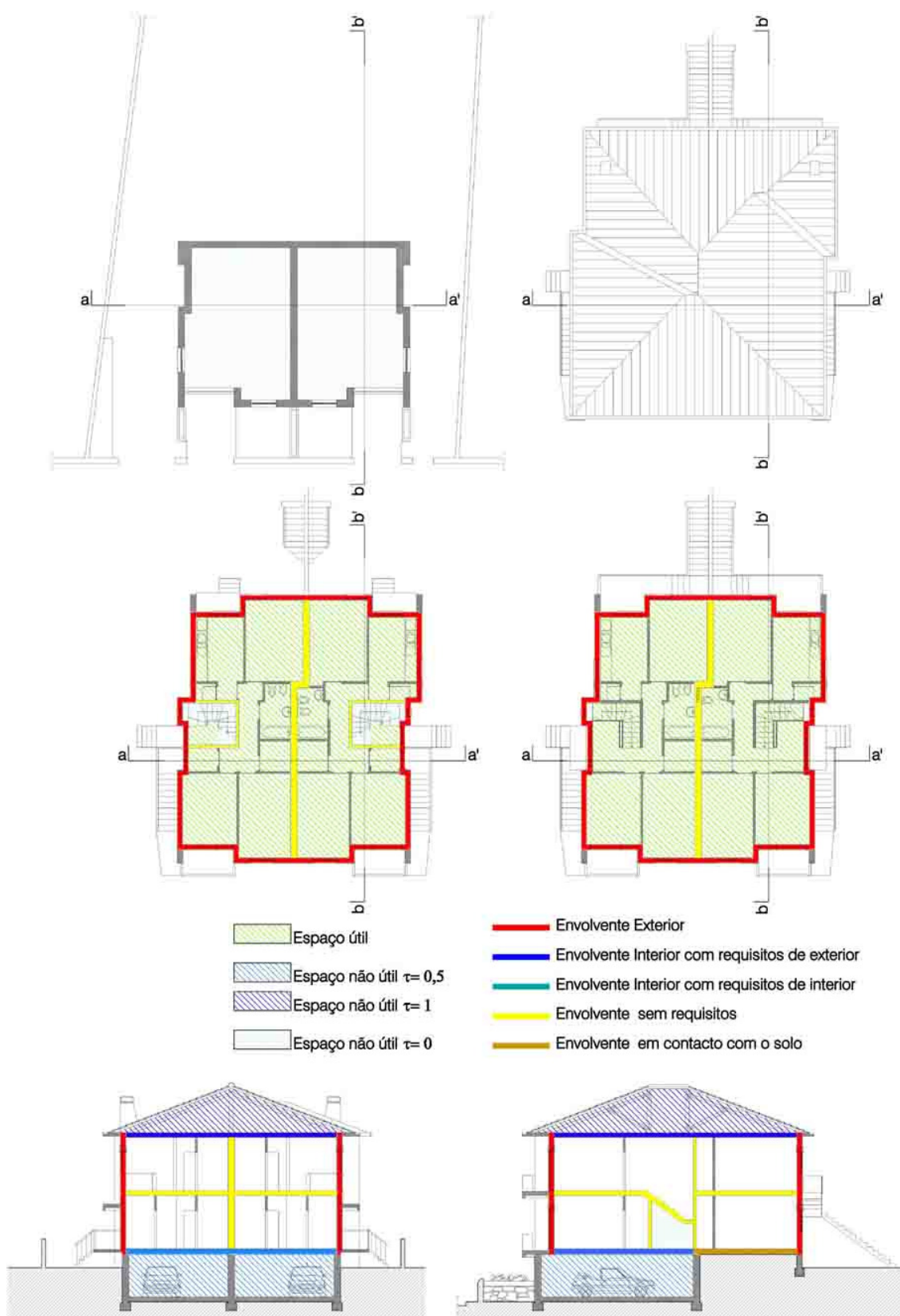


Figura 42 Caracterização geométrica do edifício. Caso de Estudo 1

### 6.1.4 Caracterização térmica da envolvente - situação actual

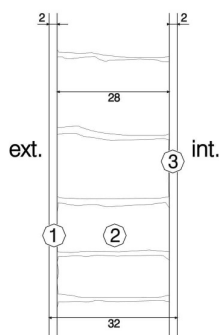
Descrevem-se de seguida as características, conforme o existente, para análise à luz do RCCTE. Tais características prendem-se essencialmente com o comportamento térmico da envolvente e das suas pontes térmicas, dos vãos envidraçados e das taxas de renovação de ar. Os pormenores das soluções construtivas, com a indicação dos seus elementos constituintes, respectivas dimensões e coeficientes de transmissão térmica, apresentam-se nas figuras seguintes. Identificaram-se já, neste primeiro passo que a tipologia construtiva revela a inexistência de isolamento térmico na envolvente, o que ao nível dos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis pelo regulamento ( $U_{m\acute{a}x}$ ) não cumpre que, para melhor análise, foram indicados na última linha do respectivo quadro.

#### a.1) Envolvente Opaca Exterior:

##### Zona Corrente

##### PE.1 - Parede Exterior

A parede exterior é composta por um pano de alvenaria ordinária (perpeanho) revestida a ambas faces por reboco. O pormenor e a composição da parede exterior da fachada (zona corrente), bem como as espessuras dos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), são mostrados a seguir (Figura 43 e Tabela 1).



**Figura 43** Pormenor da parede exterior

**Tabela 1** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior

PE.1 - Parede Exterior	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	$R_j$ (m <sup>2</sup> .°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m <sup>3</sup> )	Massa (Kg/m <sup>2</sup> )
Rse			0,04		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
2 - Alvenaria de Granito	0,28	2,8	0,10	2600	728
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,13		
Espessura total	0,32				
$m_t$					804
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,30		
Coefficiente de transmissão térmica $U$ (W/m <sup>2</sup> .°C)			3,33		
Coefficiente de transmissão térmica $U_{m\acute{a}x}$ (W/m <sup>2</sup> .°C)			1,60		

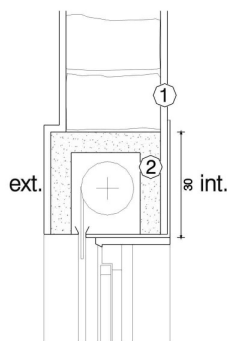
##### Zona não Corrente

##### Pontes térmicas planas

Sendo a envolvente deste edifício em pedra de granito e pela não existência de pilares ou talões de vigas, apenas existem pontes térmicas planas na zona da caixa de estores. De referir que, relativamente ao cálculo das pontes térmicas lineares, foi considerado o valor convencional de  $\psi = 0,5 \text{ W/m. } ^\circ\text{C.}$ , expressos *no RCCTE*, na ausência dos valores de  $\psi$  característicos da presente solução construtiva.

## Ptp.1 – Caixa de Estore

As caixas de estores encontram-se inseridas nas paredes da envolvente exterior, sem qualquer tipo de isolamento térmico. Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), foi apenas considerado o reboco e o betão até a caixa-de-ar, considerando que o interior da caixa de estore se encontra a uma temperatura igual à temperatura exterior, apresentados na figura 44 e tabela 2:



**Figura 44** Pormenor da caixa de estore

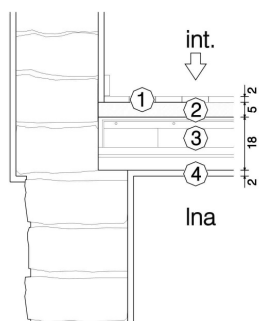
**Tabela 2** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore

Ptp.1- Caixa de Estore	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Massa Volúmica ( $Kg/m^3$ )	Massa ( $Kg/m^2$ )
Rsi			0,13		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
2 - Betão	0,03	1,65	0,018	2100	63
Rsi			0,13		
<i>Espessura total</i>	0,05				
$m_t$					101
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					50,5
R térmica total			0,293		
<i>Coefficiente de transmissão térmica U (W/m2.°C)</i>			3,41		

## a.2) Envolvente Opaca Interior:

### Pav\_Ina.1– Pavimento interior com requisitos de envolvente interior

O pavimento que faz a separação de um espaço útil para um local não aquecido ( $l_{na}$ ), com  $\tau = 0,5$  correspondente à zona de garagem, é composto por uma laje aligeirada de tijolos cerâmicos, sem isolamento térmico. O pormenor e a composição do pavimento, bem como as espessuras dos diversos materiais, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), são apresentados na figura 45 e tabela 3:



**Figura 45** Pormenor do pavimento interior

**Tabela 3** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior para local não aquecido

Pav_Ina .1	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Massa Volúmica ( $Kg/m^3$ )	Massa ( $Kg/m^2$ )
Rsi			0,17		
1 - Taco de madeira	0,02	0,23	0,09	700	14
2 - Camada de regularização	0,05	1,65	0,03	1200	36
3 - Laje aligeirada - cerâmicos	0,18		0,13	1000	180
4 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,17		
<i>Espessura total</i>	0,27				
$m_t$					268
$m_{si} = m_t < 300 \text{ Kg/m}$					268
R térmica total			0,61		
<i>Coefficiente de transmissão térmica U (W/m2.°C)</i>			1,64		
<i>Coefficiente de transmissão térmica U<sub>máx</sub> (W/m2.°C)</i>			1,30		

## Pav\_Ina.2– Pavimento interior com requisitos de envolvente exterior

O pavimento que separa a área útil, do desvão não habitado da cobertura inclinada (Ina) apresenta-se com um coeficiente de  $\tau \geq 0,7$ , ao qual devem ser aplicados os requisitos mínimos exigidos à envolvente exterior. O pormenor e a composição do pavimento, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados na figura 46 e tabela 4:

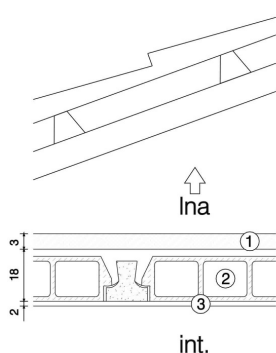


Figura 46 Pormenor do pavimento interior

**Tabela 4** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior para local não aquecido - cobertura

Pav_Ina.2	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rse			0,10		
1 - Camada de regularização	0,03	1,65	0,02	1200	36
2 - Laje aligeirada - cerâmicas	0,18		0,13	1000	180
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,10		
Espessura total	0,23				
$m_t$					254
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					127
R térmica total			0,37		
Coefficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)			2,70		
Coefficiente de transmissão térmica U <sub>máx.</sub> (W/m².°C)			1,30		

### a.3) Vãos Envidraçados

A caracterização dos vãos envidraçados verticais aqui apresentada na figura 47 e tabela 5 refere-se a uma caixilharia de madeira de sistema de correr e vidro simples com permeabilidade ao ar baixa considerando o dispositivo de oclusão nocturna – estore de lâminas plásticas, que apresenta boa estanquidade.

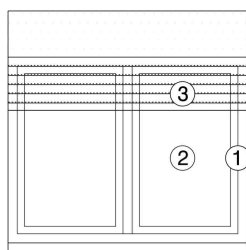


Figura 47 Vão envidraçado

**Tabela 5** Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado

Vão Envidraçado	
1 - Caixilharia em madeira	
2 - Vidro simples	
3 - Dispositivo de oclusão nocturna	
Factor solar vidro	0.85
Factor solar de Inverno	0.70
Coefficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)	3,40

## 6.2 CASO DE ESTUDO 2

### 6.2.1 Descrição do caso de estudo 2 – Rua do Professor Bento de Jesus Caraça

O segundo caso de estudo a ser analisado situa-se no centro da cidade do Porto, próximo da Praça Velasquez, mais precisamente na Rua do Professor Bento de Jesus Caraça. A rua caracteriza-se por uma ocupação predominante de edifícios de habitação contemporâneos ao caso de estudo (fig. 50 e 51). O edifício completa o conjunto nascente/poente da rua, que oferece

localização

um alinhamento de planos de fachada e cércea bem definida (fig. 48 e 49). Compõe-se por uma cave, Rés-do-chão recuado, dando lugar a uma galeria exterior coberta, quatro pisos plenos e um último piso recuado. O rés-do-chão encontra-se ocupado com um local comercial e um espaço de apoio a infra-estruturas públicas. O edifício tem um total de 10 fogos, distribuídos da seguinte forma, dois fogos T4 por piso corrente e dois fogos T3 no piso recuado. Cada piso conta com uma área bruta de 327,90 m<sup>2</sup>. O edifício encontra-se implantado no terreno, com a fachada principal virada a Nascente (quartos) e a fachada posterior voltada a Poente (Sala e Cozinha) (figura 6.2-1 e figura 6.2-2).

volumetria

programa



**Figura 48**  
Identificação das fracções

**Figura 49** Planta de Implantação

O estudo recai sobre os dois fogos T4 do piso 1 e um fogo T3 do recuado, consideradas as situações mais desfavoráveis, onde os fluxos térmicos podem ser mais extremos e que, por se enquadrar em distintas condicionantes espaciais, estabelecem os limites máximos de estudo para as distintas soluções de reabilitação térmica e energética do edifício. O fogo "A" contacta, inferiormente com um local não aquecido (espaço comercial), lateralmente com o lote adjacente e com as zonas de circulação comum (caixa de escadas e caixa de elevadores). A fracção "B" contacta inferiormente com várias zonas não aquecidas (circulação comum, espaço comercial e um espaço exterior ao programa do edifício, associado a infra-estruturas públicas) e lateralmente com o edifício adjacente e com as zonas de circulação comum (caixa de escadas e caixa de elevadores). Por último a fracção "I", responde às solicitações térmicas da cobertura, pois encontra-se no andar recuado, limite superior do edifício.

As fracções “A” e “B” têm uma área de pavimento útil de 135,70 m<sup>2</sup> e a fracção “I” aproximadamente 79,60 m<sup>2</sup>. O edifício é considerado como sendo de inércia térmica forte como no caso de estudo anterior, frequente na construção corrente em Portugal. De seguida são apresentadas as soluções características deste caso de estudo que difere do anterior, reportando para uma construção tipificada dos anos 90 com a utilização da parede dupla de tijolo cerâmico.



**Figura 50**  
Vista Este do edifício – fachada principal



**Figura 51**  
Vista Oeste do edifício

A estrutura de suporte é constituída por um sistema de pórtico dispondo-se longitudinalmente em alinhamento correspondente às fachadas, com pilares e vigas de 25 cm de largura, totalmente embebidos nas fachadas. Os apoios das vigas interiores situam-se na zona de circulação comum – escadas e caixa de elevador confinada a uma parede de betão portante com 15 cm de largura. Os pavimentos são constituídos por lajes aligeiradas com vigotas pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas a que acresce uma betonilha de regularização e um acabamento em soalho de madeira, excepto cozinhas, banhos, arrumos e despensa, que são em material cerâmico.

As paredes exteriores compõem-se de um pano de tijolo interior cerâmico furado de 11cm, alinhado pela face interior à estrutura, dando lugar a uma pequena caixa de ar e mais um pano de parede de tijolo de 11 cm, perfazendo a largura dos pilares. Parte do volume principal avança para o exterior, demarcando a zona de entrada, dando lugar a uma pequena galeria exterior face à rua. As paredes de separação de fogos, edifício adjacente e delimitação das escadas são em tijolo cerâmico de 15 cm, deixando apenas o tijolo de 7cm para as divisórias interiores.

A cobertura inclinada encontra-se seccionada em três partes, uma corresponde à zona das circulações comuns e zona técnica para manutenção dos elevadores, a segunda secção corresponde à parte do programa habitacional e a terceira constitui uma área de arrumos comuns e parte da área pertencente ao fogo. Será importante referir que segundo o processo de obras consultado na Câmara Municipal do Porto, o edifício apresentaria um recuado em terraço que hoje se encontra fechado em marquise em ambas fachadas, composta por uma estrutura leve metálica revestida a placas de fibrocimento sem qualquer tipo de isolamento térmico. A cobertura principal é revestida a telha cerâmica. Os vãos têm por base caixilhos em alumínio anodizado a

cor natural, com vidro simples, servidas de persianas de réguas plásticas na face exterior como dispositivo de oclusão nocturna. As caixas de estore encontram-se inseridas nas paredes da envolvente exterior, na zona da viga de bordadura.

vãos

As fracções autónomas não são providas de qualquer sistema de climatização – aquecimento ou arrefecimento. Utilizam aquecedores de resistência eléctrica para aquecimento ambiente no Inverno. A produção de água quente sanitária é produzida por intermédio de termoacumuladores eléctricos de 60lts, possuem uma potência de 1,6 kW. Pela antiguidade do imóvel cremos que as tubagens de abastecimento não se encontrem isoladas. Em cada uma das instalações sanitárias existe apenas ventilação forçada com saída para a cobertura, as cozinhas reportam um sistema de ventilação, e extracção de fumos, mecânico, accionado pontualmente.

sistemas de climatização

AQS

ventilação

Os princípios gerais que guiaram a concepção construtiva do edifício segundo as características referidas, apontam para um edifício de construção mais aligeirada que o caso anterior utilizando paredes de tijolo vasado em ambos panos, de reduzidas dimensões sem utilização de qualquer tipo de isolamento.

concepção geral

### 6.2.2 Zonamento Climático

No presente caso, o edifício em estudo localiza-se na cidade do Porto, que se integra na zona climática I2-V1 Norte. A cota de implantação do edifício, segundo a planta topográfica, aponta para uma altitude de 156,60 m, sendo <400 m não sofre qualquer alteração da zona climática. Segundo o quadro III.1 a duração da estação de aquecimento será de 6,7 meses e um número de graus-dias de aquecimento igual a 1610 °C.dia, a temperatura exterior de projecto de Verão será 30°C, com amplitude térmica média diária do mês quente de 9°C. De acordo com o Quadro III.8 do RCCTE a Energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento (G<sub>sol</sub>) é de 93 kWh/m<sup>2</sup>.mês. Os valores médios da intensidade da radiação solar para a estação convencional de arrefecimento (Junho a Setembro), segundo o quadro III.9 do RCCTE são: V1N -  $\theta_{atm}$  19, (E -420 kWh/m<sup>2</sup>, W - 420 kWh/m<sup>2</sup>).

Foram estes os dados utilizados no cálculo das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento nos casos estudados. Para o tipo de análise térmica realizada, tomaram-se para as temperaturas interior e exterior o valor característico de conforto (20°C) e o valor de referência para a estação de aquecimento (25°C) constante no ponto a) do artigo 14º do RCCTE. A taxa de referência para a renovação de ar, para garantia da qualidade do ar interior é de 0,6 renovações por hora e um consumo de referência de água quente sanitária para utilização de edifícios de habitação de 40l de água quente a 60°C por pessoa e por dia.

### 6.2.3 Caracterização geométrica

Cada um dos pisos é composto por duas fracções individuais, de tipologia esquerdo/direito, com área bruta de construção de 327,94 m<sup>2</sup> e área útil 135,70 m<sup>2</sup> para as habitações T4 e 79,60 m<sup>2</sup> para as habitações T3 situadas no recuado. A distribuição espacial é repartida entre hall, sala, cozinha, despensa, instalações sanitárias, arrumos, circulação e 4/3 quartos. As fracções em estudo – fracção “A”, “B”, “I”, tem exposição solar E/W.

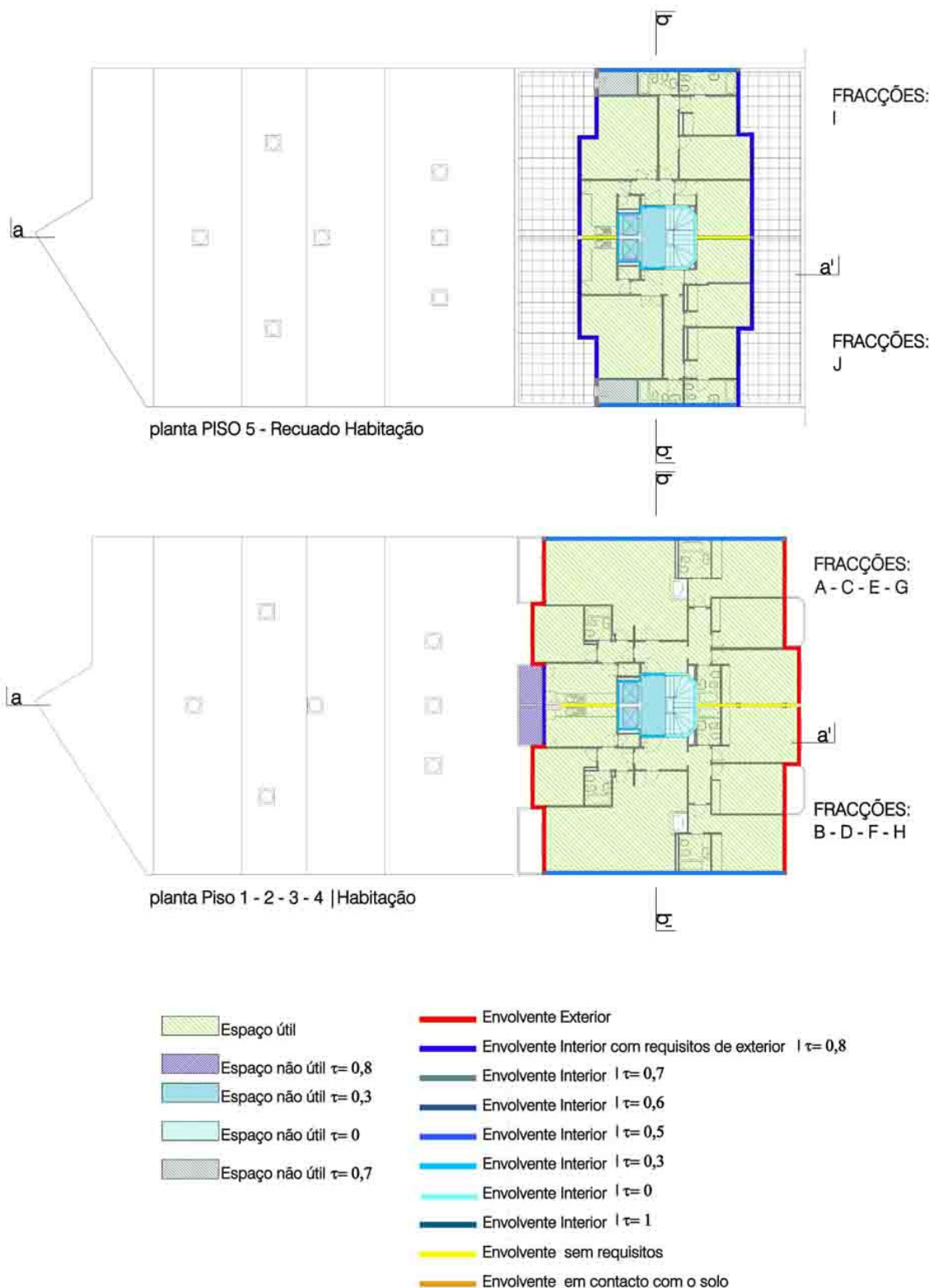


Figura 52 Caracterização geométrica do edifício - Caso de Estudo 2



## 6.2.4 Caracterização térmica da envolvente - situação actual

Descrevem-se de seguida as características, conforme o existente, para análise à luz do RCCTE. Tais características prendem-se essencialmente com o comportamento térmico da envolvente e das suas pontes térmicas, dos vãos envidraçados e das taxas de renovação de ar. Os pormenores das soluções construtivas, com a indicação dos seus elementos constituintes, respectivas dimensões e coeficientes de transmissão térmica, apresentam-se nas figuras seguintes. Identificaram-se já neste primeiro passo que a tipologia construtiva revela a inexistência de isolamento térmico na envolvente, o que ao nível dos coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis pelo regulamento ( $U_{\max}$ ) não cumpre que, para melhor análise foram indicados na última linha do respectivo quadro.

### a.1) Envolvente Opaca Exterior:

#### Zona Corrente

##### PE.1 - Parede Exterior

A parede exterior é composta por dois panos de alvenaria de tijolo vasado, revestidos a ambas faces por reboco. O pormenor e a composição da parede exterior da fachada (zona corrente), bem como as espessuras dos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), são mostrados a seguir (figura 53 e tabela 6):

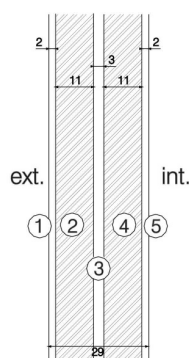


Figura 53 Pormenor da parede exterior

Tabela 6 Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior

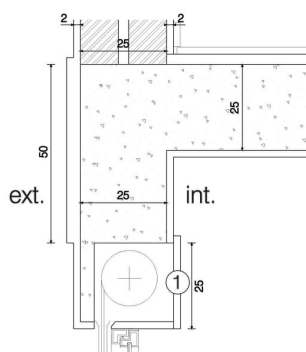
PE.1- Parede Exterior	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Massa Volúmica ( $Kg/m^3$ )	Massa ( $Kg/m^2$ )
Rse			0,04		
1 - Revestimento cerâmico	0,02	1,3	0,015	2300	46
2 - Tijolo cerâmico furado	0,11	0,41	0,27	1100	121
3 - Caixa de ar	0,04		0,18		
4 - Tijolo cerâmico furado	0,11	0,41	0,27	1100	121
5 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,13		
Espessura total	0,29				
$m_t$					326
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,92		
Coefficiente de transmissão térmica U ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )			1,09	$U_{\text{ina}} 1,00$	
Coefficiente de transmissão térmica $U_{\max}$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )			1,60		

#### Zona não Corrente

#### Pontes térmicas planas

##### Ptp.1 – Caixa de Estore

As caixas de estores encontram-se inseridas nas paredes da envolvente exterior, sem qualquer tipo de isolamento térmico. Para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), foi apenas considerado o reboco e o betão até à caixa-de-ar, considerando que o interior da caixa de estore se encontra a uma temperatura igual à temperatura exterior, apresentados na figura 54 e tabela 7:



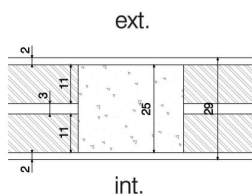
**Figura 54** Pormenor da caixa de estore

**Tabela 7** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore

Ptp.1- Caixa de Estore	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rsi			0,13		
1 - Madeira	0,02	0,15	0,13	500	10
Rsi			0,13		
<i>Espessura total</i>	0,02				
$m_t$					10
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					5
R térmica total			0,39		
<i>Coefficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)</i>			2,56		

## Ptp.2 – Pilar/ viga de betão

Os pilares e as vigas encontram-se inseridos nas paredes da envolvente exterior, criando zonas de heterogeneidade, que dão lugar a pontes térmicas. Convém salientar que a solução final totaliza a mesma espessura que a parede onde se insere, ou seja 25 cm. O pormenor e a composição dos pilares e das vigas, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são idênticos, diferem apenas na área, conforme se pode verificar a seguir na figura 55 e tabela 8:



**Figura 55** Pormenor de pilar inserido e zona corrente

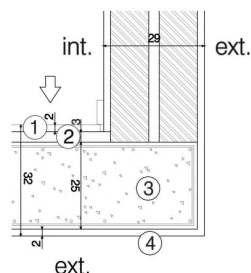
**Tabela 8** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pilar/viga

Ptp.2- Pilar inserido	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rse			0,04		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
2 - Pilar em betão armado	0,25	2,00	0,125	2400	600
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,13		
<i>Espessura total</i>	0,29				
$m_t$					676
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,325		
<i>Coefficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)</i>			3,08		

## Pav\_E.1– Pavimento exterior

O pavimento que faz a separação de um espaço útil com o exterior, situado na zona dos quartos, mais precisamente na fachada principal, é composto por uma laje aligeirada de tijolos cerâmicos, sem isolamento térmico. O pormenor e a composição do pavimento, bem como as espessuras dos diversos materiais, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados na figura 56 e tabela 9:

**Tabela 9** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento exterior



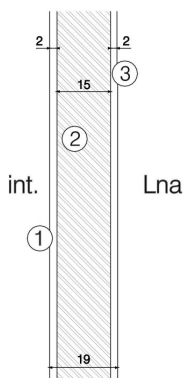
PavE.1	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rsi			0,17		
1 - Taco de madeira	0,02	0,23	0,09	700	14
2 - Camada de regularização	0,03	1,65	0,018	1200	36
3 - Laje betão	0,25	2,00	0,125	2400	600
4 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rse			0,04		
Espessura total	0,32				
$m_t$					688
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,46		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)			2,17		
Coeficiente de transmissão térmica U <sub>máx</sub> (W/m².°C)			1,00		

**Figura 56** Pormenor de pavimento exterior

## a.2) Envolvente Opaca Interior:

### PI.1 Parede de Escadas e Edifício Adjacente

A parede interior que faz a separação para locais não aquecidos (lna), como a zona das escadas e os edifícios adjacentes, situados nos lotes contíguos, é composta por um pano de alvenaria de tijolo de 15, sem isolamento térmico. O pormenor e a composição da parede, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados a seguir (figura 57 e tabela 10):



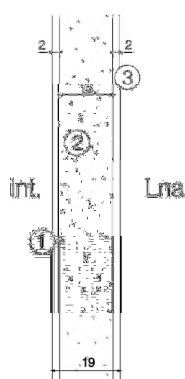
**Tabela 10** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede de separação escadas e edifício adjacente

PI.1- Parede Interior	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rsi			0,13		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
2 - Tijolo cerâmico furado	0,15	0,41	0,37	1100	165
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,13		
Espessura total	0,19				
$m_t$					241
$m_{si} = m_t / 2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					120,5
R térmica total			0,66		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)			1,52		
Coeficiente de transmissão térmica U <sub>máx</sub> (W/m².°C)			2,00		

**Figura 57** Pormenor de parede de separação

### PI.2 Parede da Caixa de Elevador

A parede interior da caixa de elevadores, que faz a separação da zona do núcleo dos elevadores (lna) e o interior do fogo é constituída por 15cm de betão armado revestido a reboco na face interior. O pormenor e a composição da parede, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados a seguir (figura 58 e tabela 11):



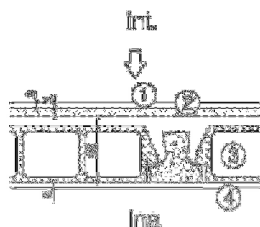
**Figura 58** Pormenor de parede de separação

**Tabela 11** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede de separação escadas e edifício adjacente

Pl.2- Parede Interior	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rei			0,13		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1800	36
2 - Betão Armado	0,16	2,0	0,075	2400	384
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1800	36
Rei			0,13		
Espessura total	0,19				
$m_i$					456
$m_{td} = m_i/2 \leq 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,37		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m2.°C)			2,70		
Coeficiente de transmissão térmica U <sub>máx</sub> (W/m2.°C)			1,30		

### Pav\_Ina.1– Pavimento interior com requisitos de envolvente interior

O pavimento que faz a separação de um espaço útil para um local não aquecido (lna), com  $\tau = 0,6$  correspondente à zona do local comercial, é composto por uma laje aligeirada de tijolos cerâmicos. O pormenor e a composição do pavimento, bem como as espessuras dos diversos materiais, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados na figura 59 e tabela 12:



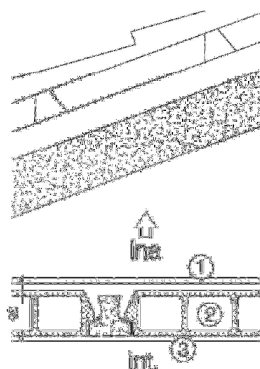
**Figura 59** Pormenor de pavimento interior

**Tabela 12** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior

Pav_Ina.1	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rei			0,17		
1 - Tapa de madeira	0,02	0,20	0,00	700	14
2 - Camada de regularização	0,03	1,50	0,018	1200	36
3 - Laje aligeirada - cerâmicos	0,25		0,04	1900	475
4 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1800	36
Rei			0,17		
Espessura total	0,32				
$m_i$					561
$m_{td} = m_i/2 \leq 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,70		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m2.°C)			1,43		
Coeficiente de transmissão térmica U <sub>máx</sub> (W/m2.°C)			1,30		

### Pav\_Ina.2– Pavimento interior com requisitos de envolvente exterior

O pavimento que faz a separação de um espaço útil para um local não aquecido (lna), com  $\tau > 0,7$  correspondente à cobertura, é composto por uma laje aligeirada de tijolos cerâmicos, por uma camada de regularização. O pormenor e a composição do pavimento, bem como as espessuras dos diversos materiais, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados na figura 60 e tabela 13:



**Figura 60** Pormenor de pavimento interior

**Tabela 13** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento interior laje de tecto

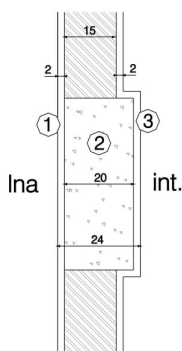
Pav. Ina.2	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rse			0,04		
1 - Camada de regularização	0,04	1,05	0,02	1900	36
2 - Laje alvenada - cerâmica	0,25		0,23	1900	190
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rsi			0,10		
Espessura total	0,30				
$m_t$					264
$m_{si} = m_t/2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					127
R térmica total			0,41		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)			2,44		
Coeficiente de transmissão térmica U <sub>rede</sub> (W/m².°C)			1,00		

## Zona não Corrente

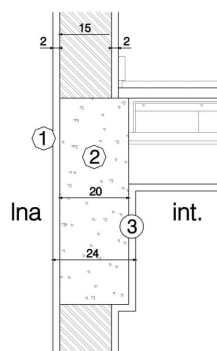
### Pontes térmicas planas

#### Ptpi.1 – Pilar e Viga inserido em zona corrente interior

As pontes térmicas de pilares e vigas para (Ina), encontram-se na parede de separação para a parede das escadas. O pormenor e a composição da parede, bem como as espessuras dos diversos materiais e o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U), são apresentados a seguir (figura 61, Figura 62 e tabela 14):



**Figura 61** Pormenor de pilar inserido em parede de separação com Ina



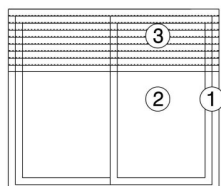
**Figura 62** Pormenor de viga inserida em parede de separação com Ina

**Tabela 14** Cálculo do coeficiente de transmissão térmica das pontes térmicas planas de pilar e viga inseridas na parede de separação Ina

Ptp.i.1- Pilar/viga inserido	Espessura (m)	Condutibilidade $\lambda$ (W/m.°C)	Rj (m².°C/W)	Massa Volúmica (Kg/m³)	Massa (Kg/m²)
Rsi			0,13		
1 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
2 - Betão armado	0,20	2,00	0,10	2400	480
3 - Reboco tradicional	0,02	1,3	0,015	1900	38
Rse			0,13		
Espessura total	0,24				
$m_t$					556
$m_{si} = m_t/2 < 150 \text{ Kg/m}^2$					150
R térmica total			0,39		
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m².°C)			2,56		

### a.3) Vãos Envidraçados

A caracterização dos vãos envidraçados verticais aqui apresentada na figura 63 e tabela 15 refere-se a uma caixilharia metálica de sistema de correr e vidro simples com permeabilidade ao ar baixa considerando o dispositivo de oclusão nocturna – estore de lâminas plásticas, que apresentam boa estanquidade.



**Figura 63**  
Vão envidraçado

**Tabela 15** Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado

Vão Envidraçado	
1 - Caixilharia metálica sem corte térmico	
2 - Vidro simples	
3 - Dispositivo de oclusão nocturna	
Factor solar vidro	0.85
Factor solar de Inverno	0.70
Coeficiente de transmissão térmica U (W/m <sup>2</sup> .°C)	4,10

## 6.3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Na presente secção pretende-se diagnosticar o desempenho energético dos casos de estudo seleccionados, de forma a permitir detectar as áreas mais relevantes de consumo, com o intuito de identificar medidas que permitam delinear estratégias de optimização, reduzindo a factura energética e o seu impacto no ambiente.

Através da análise que se segue, pode-se verificar que os consumos energéticos dos casos em estudo são substancialmente elevados, principalmente no que se refere à estação de aquecimento e às necessidades de aquecimento de AQS. De referir que nenhum dos casos de estudo, apresenta situações de incumprimento por parte das necessidades máximas de arrefecimento.

### 6.3.1 Quantificação das trocas energéticas associadas à envolvente térmica do edifício

Para a quantificação das perdas térmicas globais e necessidades de energia útil dos casos de estudos representativos da década de 40 e 80, aplicou-se a metodologia descrita no Capítulo 5, através da qual se apuraram as diversas categorias de perdas e ganhos térmicos (Anexo B). Relativamente às perdas, elas foram divididas em: condução pela envolvente opaca exterior e interior (I<sub>na</sub>), onde se incluem as pontes térmicas, condução pelos envidraçados, e convecção por renovação do ar. Relativamente aos ganhos, contabilizaram-se os decorrentes da radiação solar (ganhos solares) e os resultantes da ocupação e equipamentos (ganhos internos).

O cálculo das perdas térmicas globais é apresentado na tabela 16 e resulta da soma das seguintes parcelas: perdas térmicas em zonas correntes com o exterior, perdas em zonas correntes com locais não aquecidos (I<sub>na</sub>), perdas por ventilação, perdas através dos

envidraçados, perdas através das pontes térmicas lineares, perdas através das pontes térmicas planas com o exterior e perdas através das pontes térmicas planas com locais não aquecidos (Ina).

**Tabela 16** Contabilização das Perdas Térmicas Globais e respectivas perdas parcelares

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	6192,51	8084,54	5267,30	2176,63	-
	Zona Corrente Interior	1858,58	7155,25	3947,74	4914,52	7634,06
	Ventilação	2525,54	2848,09	4635,25	4635,25	2929,29
	Envidraçados	1640,92	1993,98	2689,23	2689,23	1300,23
	Pontes térmicas planas Exteriores	405,41	511,68	552,91	552,91	-
	Pontes térmicas planas (Ina)	-	-	24,34	24,34	120,94
	Pontes térmicas lineares	1875,50	1437,42	1698,66	1698,66	1928,13
	<b>Perdas térmicas globais</b>	<b>14.498,44</b>	<b>22.030,74</b>	<b>18.815,69</b>	<b>16.691,54</b>	<b>13.912,65</b>

As perdas através da envolvente opaca, que resultam da soma das perdas em zona corrente exterior e interior, apresentam-se na tabela 17. Importa referir a ordem de grandeza das perdas do interior e (Ina) relativamente às perdas com o exterior, nomeadamente no edifício dos anos 80. A fracção I, pertencente ao caso de estudo 2 não apresenta perdas pela envolvente exterior, associado à cobertura do terraço que conforma o recuado, transformando toda esta área em “marquise” – envolvente interior.

**Tabela 17** Perdas através da envolvente opaca

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Envolvente Opaca_ Exterior	6192,51	8084,54	5267,30	2176,63	-
	Envolvente Opaca – Interior/Lna	1858,58	7155,25	3947,74	4914,52	7634,04
	<b>Envolvente Opaca Total</b>	<b>8051,09</b>	<b>15239,79</b>	<b>9215,04</b>	<b>7091,15</b>	<b>7634,04</b>

Na tabela 18 apresentam-se as perdas que têm lugar nas pontes térmicas e o seu valor global para as habitações analisadas.

**Tabela 18** Perdas através das pontes térmicas

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Pontes térmicas planas	405,41	511,68	577,25	577,25	120,94
	Pontes térmicas lineares	1875,50	1437,42	1698,66	1698,66	1928,13
	<b>Pontes térmicas Total</b>	<b>2280,91</b>	<b>1949,10</b>	<b>2275,91</b>	<b>2275,91</b>	<b>2049,07</b>

As perdas térmicas resultantes dos vãos envidraçados e o seu valor global são apresentadas na tabela 19.

**Tabela 19** Perdas através dos envidraçados (kWh/ano)

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	<b>Envidraçados</b>	<b>1640,92</b>	<b>1993,98</b>	<b>2689,23</b>	<b>2689,23</b>	<b>1300,23</b>

As perdas térmicas por ventilação (tabela 20), correspondem a uma taxa de renovações de ar que varia de ( $R_{ph}=1,15h^{-1}$ ) para as fracções do edifício dos anos 40 (urbano/rural) e ( $R_{ph}=1,00h^{-1}$ ) para as fracções do edifício dos anos 80 (urbano).

**Tabela 20** Perdas através da ventilação

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Ventilação	2525,54	2848,09	4635,25	4635,25	2929,29

A partir dos resultados obtidos calcularam-se vários índices para melhor analisar a importância de cada elemento no coeficiente global de perdas. Seguidamente são descritos esses índices e sua forma de cálculo, bem como os valores que tomam para as habitações analisados (figura 64).

**a) Impacte das perdas pela envolvente opaca no conjunto total das perdas:**

$$I_{Eopaca} = \frac{\text{Envolvente Opaca Exterior} + \text{Envolvente Opaca Interior}}{\text{Perdas Térmicas Globais}} [\%]$$

**b) Impacte das perdas por pontes térmicas no conjunto total das perdas:**

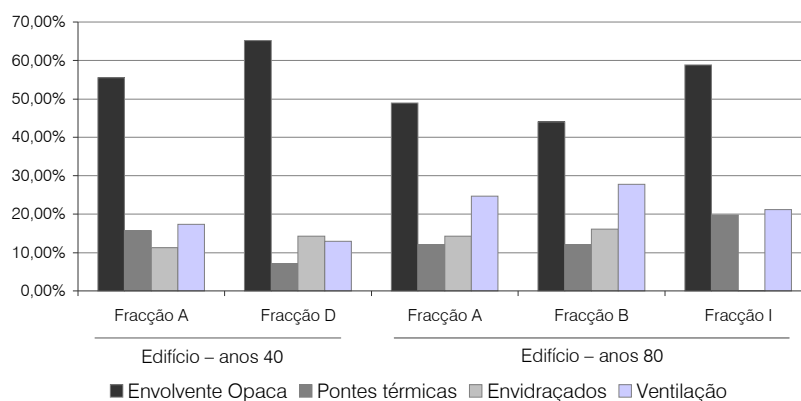
$$I_{pt} = \frac{\text{Pontes Térmicas Planas} + \text{Pontes Térmicas lineares}}{\text{Perdas Térmicas Globais}} [\%]$$

**c) Impacte das perdas pelos Envidraçados no conjunto total das perdas:**

$$I_{Env} = \frac{\text{Envidraçados}}{\text{Perdas Térmicas Globais}} [\%]$$

**d) Impacte das perdas por ventilação no conjunto total das perdas:**

$$I_{Ventilação} = \frac{\text{Ventilação}}{\text{Perdas Térmicas Globais}} [\%]$$



**Figura 64** Índices comparativos das perdas térmicas parcelares face as perdas térmicas globais



### 6.3.2 Cálculo das necessidades de energia útil para Aquecimento

O cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento ( $N_{ac}$ ) é bastante similar ao das perdas térmicas globais já descrito anteriormente, havendo apenas a acrescentar uma parcela referente aos ganhos solares e internos que subtrai às perdas para fornecer o valor das necessidades de energia de aquecimento. Assim, as necessidades de energia de aquecimento resultam da soma das parcelas: perdas térmicas em zonas correntes com o exterior, perdas em zonas correntes com locais não aquecidos ( $I_{na}$ ), perdas por ventilação, perdas através dos envidraçados, perdas através das pontes térmicas lineares, perdas através das pontes térmicas planas com o exterior, perdas através das pontes térmicas planas com locais não aquecidos ( $I_{na}$ ); e subtração dos ganhos úteis (solares e internos). Os valores das várias parcelas, bem como das necessidades de energia útil de aquecimento anuais, são apresentados na seguinte tabela 21.

**Tabela 21** Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	6192,51	8084,54	5267,30	2176,63	-
	Zona Corrente Interior/ $I_{na}$	1858,58	7155,25	3947,74	4914,52	7634,06
	Ventilação	2525,54	2848,09	4635,25	4635,25	2929,29
	Envidraçados	1640,92	1993,98	2689,23	2689,23	1300,23
	Pontes térmicas planas Exteriores	405,41	511,68	552,91	552,91	-
	Pontes térmicas planas ( $I_{na}$ )	-	-	24,34	24,34	120,94
	Pontes térmicas lineares	1875,50	1437,42	1698,66	1698,66	1928,13
	Ganhos Úteis (Solares + Internos)	2262,14	2530,67	3765,65	3763,56	1536,41
	<b>Nec. de Aquecimento</b>	<b>12.236,30</b>	<b>19.500,07</b>	<b>15.014,34</b>	<b>12.927,99</b>	<b>12.376,24</b>

À semelhança do que já foi feito com as perdas térmicas globais, com base nos resultados obtidos calcularam-se vários índices relativos às necessidades de energia útil de aquecimento para melhor analisar a importância e o peso parcelar das perdas térmicas. Seguidamente são descritos esses índices e a sua forma de cálculo, bem como os valores que tomam para os casos de estudo analisados (figura 65).

#### a) Impacte das perdas pela envolvente opaca nas necessidades de energia útil de aquecimento:

$$I_{Eopaca} = \frac{\text{Envolvente Opaca Exterior} + \text{Envolvente Opaca Interior}/I_{na}}{N_{ac}} \quad [\%]$$

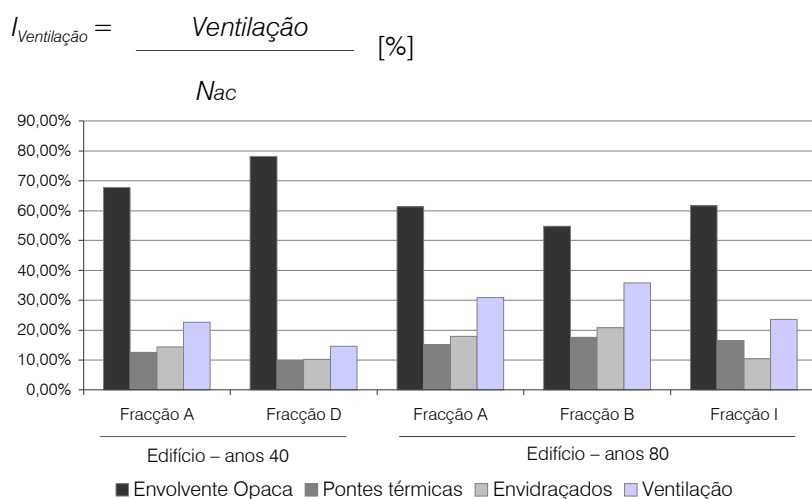
#### b) Impacte das perdas por pontes térmicas nas necessidades de energia útil de aquecimento:

$$I_{pt} = \frac{\text{Pontes Térmicas Planas} + \text{Pontes Térmicas lineares}}{N_{ac}} \quad [\%]$$

#### c) Impacte das perdas pelos Envidraçados nas necessidades de energia útil de aquecimento:

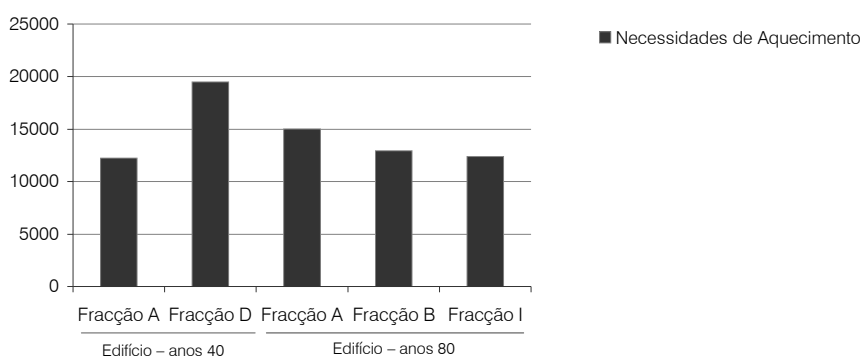
$$I_{Env} = \frac{\text{Envidraçados}}{N_{ac}} \quad [\%]$$

#### d) Impacte das perdas por ventilação nas necessidades de energia útil de aquecimento:



**Figura 65** Índices comparativos das perdas térmicas parcelares face as necessidades de aquecimento

As necessidades de aquecimento de cada fracção autónoma são apresentadas na figura 66.



**Figura 66** Necessidades de energia para aquecimento

### 6.3.3 Quantificação do consumo de energia associado aos sistemas e instalações

A quantificação da energia necessária para satisfazer as necessidades de aquecimento de águas quentes sanitárias admite o consumo de referência estipulado no regulamento RCCTE para utilização em edifícios de habitação (40 l. de água quente a 60° C, por pessoa e por dia). Considera-se para efeitos do cálculo que o sistema de preparação de AQS é um termoacumulador eléctrico com 50 mm de isolamento térmico e que a rede de abastecimento de água quente não se encontra isolada, reduzindo 10 % a eficiência do sistema. As necessidades energéticas de cada fracção autónoma para a preparação de AQS são apresentadas na tabela 22.

**Tabela 22** Cálculo das Necessidades de energia para preparação de AQS

	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
	Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Número de ocupantes	2+1	2+1	4+1	4+1	3+1
Consumo médio diário refer. $M_{AQS}$	120	120	200	200	160
Energia útil - $Q_a$	2292,38	2292,38	3820,64	3820,64	3056,51
Eficiência dos sistemas	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Necessidades de Aquec. AQS	3274,83	3274,83	5458,05	5458,05	4366,44

### 6.3.4 Necessidades energéticas dos Casos de Estudo e Verificação Regulamentar

A figura 67 refere-se ao princípio de verificação do RCCTE. Exige-se que as necessidades nominais de aquecimento de um edifício –  $N_{ic}$  sejam menores ou iguais às necessidades nominais de aquecimento para condições de referência –  $N_i$ , expressas em  $\text{kW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , do mesmo modo para as necessidades nominais para arrefecimento e aquecimento das águas quentes sanitárias.

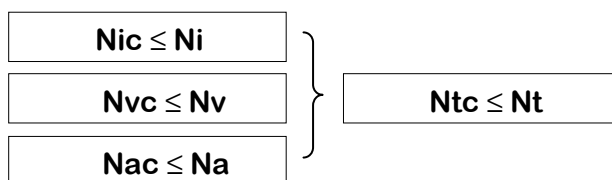


Figura 67 Verificação Regulamentar

As necessidades energéticas de cada fracção autónoma são apresentadas nas tabelas 23, 24, 25 e 26. Verifica-se primeiro o incumprimento atrás referido relativo aos coeficientes de transmissão térmica máximos permitidos e também o incumprimento por parte das necessidades máximas de aquecimento, assim como das necessidades máximas de aquecimento de AQS, que sem excepção, independentemente do sistema construtivo – alvenaria simples de pedra ou alvenaria dupla de tijolo vasado - ultrapassam largamente o estipulado.

#### a) $N_{ic}$ - Necessidades de Aquecimento

Tabela 23 Cálculo do Indicador do  $N_{ic}$

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/m <sup>2</sup> ·Ano)	Necessidades de Aquecimento	12.236,30	19.500,07	15.014,34	12.927,99	12.376,24
	Nec. Nominais de Aquec - $N_{ic}$	208,10	291,48	110,64	95,27	155,42
	Nec. Nominais de Aquec Máx - $N_i$	<b>69,28</b>	<b>87,08</b>	<b>68,90</b>	<b>68,10</b>	<b>71,62</b>
	Situação actual	<b>NÃO CUMPRE</b>	<b>NÃO CUMPRE</b>	<b>NÃO CUMPRE</b>	<b>NÃO CUMPRE</b>	<b>NÃO CUMPRE</b>
	Índice relativo	<b>300,37 %</b>	<b>334,72 %</b>	<b>160,58 %</b>	<b>139,89 %</b>	<b>217,00 %</b>

#### b) $N_{vc}$ - Necessidades de Arrefecimento

Tabela 24 Cálculo do Indicador do  $N_{vc}$

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/m <sup>2</sup> ·Ano)	Necessidades de Arrefecimento	59,26	42,75	65,49	158,45	74,24
	Nec. Nominais de Arref - $N_{vc}$	1,01	0,64	0,48	1,17	0,93
	Nec. Nominais de Aquec Máx - $N_v$	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE
	Índice relativo	<b>6,31 %</b>	<b>4,00 %</b>	<b>3,00 %</b>	<b>7,31 %</b>	<b>5,81 %</b>

#### c) $N_{ac}$ - Necessidades de Aquecimento de Águas quentes sanitárias

Tabela 25 Cálculo do Indicador do  $N_{ac}$

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/m <sup>2</sup> ·Ano)	Necessidades de Aquec. AQS	3274,83	3274,83	5458,05	5458,05	4366,44
	Nec. Nominais de Aquec AQS- $N_{ac}$	55,69	48,95	40,22	40,22	54,83
	Nec. Nomin. Aquec. AQS Máx - $N_a$	<b>60,34</b>	<b>53,03</b>	<b>43,57</b>	<b>43,57</b>	<b>59,40</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE
	Índice relativo	<b>92,29 %</b>	<b>92,30 %</b>	<b>92,31 %</b>	<b>92,31 %</b>	<b>92,30 %</b>

#### d) Ntc - Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

Tabela 26 Cálculo do Indicador do Ntc

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/m <sup>2</sup> .Ano)	Nec. Nominais de Aquec – Nic/η <sub>i</sub>	208,10	291,48	110,64	95,27	155,42
	Nec. Nominais de Arref - Nvc/η <sub>v</sub>	0,33	0,21	0,16	0,39	0,31
	Nec. Nominais de Aquec AQS- Nac	55,69	48,95	40,22	40,22	54,83
	Nec. Nominais de Ener Prim. - Ntc	22,20	22,65	14,89	14,44	20,42
	Nec. Máx. Anuais Energia Prim. - Nt	8,91	8,09	6,65	6,64	8,81
	Situação actual	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE
	Índice relativo	249,15 %	279,97 %	223,90 %	217,46 %	231,78 %

#### 6.3.5 Discussão dos resultados actuais dos casos de estudo

Com base nos resultados obtidos, é de salientar, numa primeira análise, uma diferença considerável entre as necessidades de energia útil de aquecimento (Nic) anuais do edifício em alvenaria de pedra da década de 40 para o edifício de alvenaria de tijolo vasado da década de 80 (fig. 68). É interessante notar que esta diferença é cerca de metade, o que mostra, por um lado, que apesar de ainda não cumprir com as necessidades nominais de aquecimento máximas, a parede em tijolo cerâmico permite uma melhoria efectiva da qualidade térmica quando comparada com a parede de granito. Os resultados demonstram que existe um grande potencial de poupança energética nos edifícios em estudo, considerando que ambas as soluções não têm qualquer tipo de isolamento térmico.

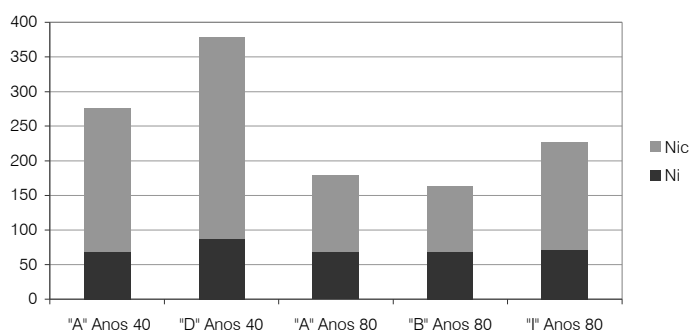
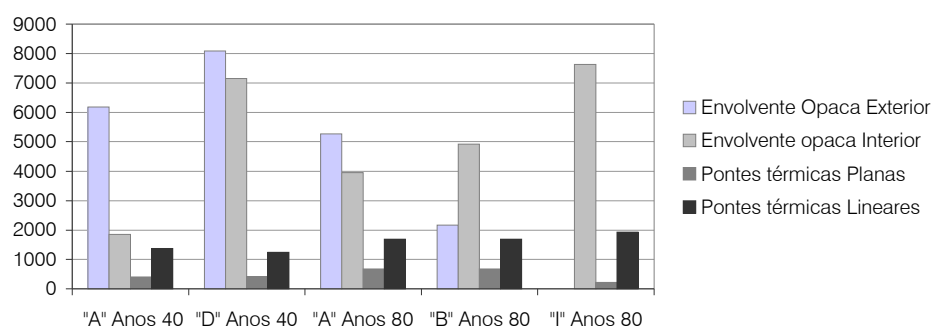


Figura 68 Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nic) [kWh/m<sup>2</sup>.ano]

Pode-se verificar nos resultados que existem maiores perdas pela envolvente opaca exterior do edifício da década de 40 em relação ao edifício dos anos 80, encontrando-se a justificação na baixa resistência térmica dos elementos de construção. As soluções construtivas apresentadas e caracterizadas nas secções anteriores, figuras 43 e 53 apontam à partida para esta diferença tão significativa, considerando que as paredes em alvenaria de granito do edifício dos anos 40 apresentam um coeficiente de transmissão térmica três vezes inferior ao coeficiente das paredes de alvenaria de tijolo cerâmico do edifício dos anos 80, de 3,33 W/m<sup>2</sup>.°C a 1,09 W/m<sup>2</sup>.°C respectivamente. Por outro lado, o edifício dos anos 80 apresenta maiores perdas na zona corrente interior, sendo que os valores mais elevados devem-se às fracções que fazem fronteira com a cobertura. O significativo aumento de perdas térmicas da envolvente opaca interior do

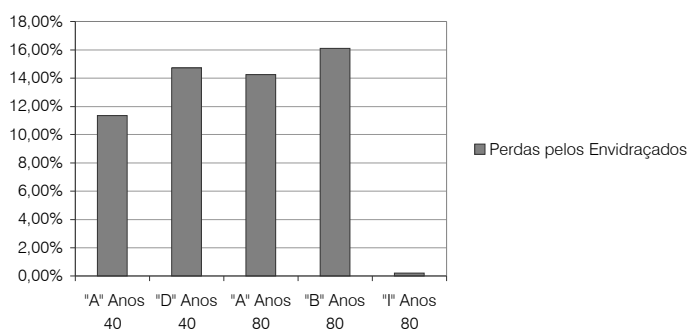
edifício mais recente pode encontrar justificação no aumento de área de elementos construtivos em contacto com locais não aquecidos.

Relativamente às perdas por pontes térmicas, também se observa um aumento assinalável das mesmas no edifício dos anos 80, quer no que respeita às pontes térmicas planas, quer no que se refere às lineares. Esta evolução em parte pode ser explicada pela evolução do sistema construtivo - utilização do betão armado como elemento estrutural - à diferença do edifício dos anos 40 onde o pavimento pousa directamente sobre as paredes de granito, reduzindo significativamente o problema das pontes térmicas (fig. 69). A consciência do aumento das perdas térmicas através das pontes térmicas tem vindo a ganhar importância pela aplicação de legislação cada vez mais eficaz, que preconiza níveis e formas de isolamento cada vez mais atentos às pontes térmicas, de que é exemplo a limitação dos coeficientes de transmissão térmica das pontes térmicas planas a um valor máximo que corresponde ao dobro do da zona corrente adjacente.



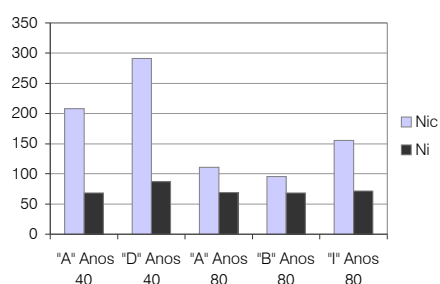
**Figura 69** Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nec) [kWh/m².ano]

As perdas térmicas dos vãos envidraçados nos casos de estudo, traduzidas nos resultados expostos, levantam o problema da escolha da caixilharia e do tipo de vidro para os vãos envidraçados, no comportamento térmico do edifício. Pode-se verificar na figura 70 que as menores perdas correspondem ao edifício dos anos 40, sendo que os dois casos de estudo apresentam caixilharias de vidro simples, apenas diferindo o material do caixilho – madeira e alumínio, onde a possibilidade de aumentar o número de vidros permitirá uma melhoria efectiva da qualidade térmica.

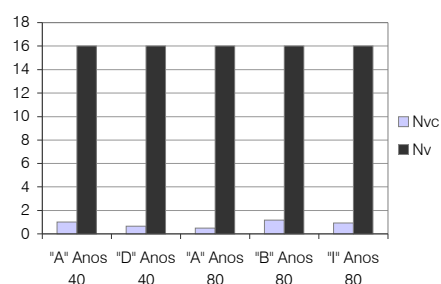


**Figura 70** Necessidades de Energia Útil de Aquecimento (Nec) [kWh/m².ano]

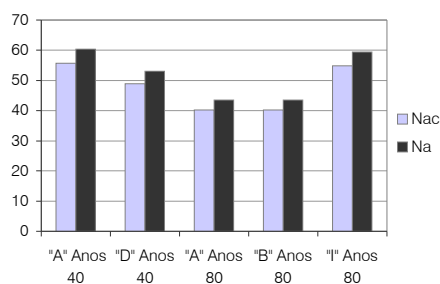
Os resultados obtidos na identificação das necessidades energéticas de cada fracção confirmam a necessidade de intervir ao nível das necessidades para aquecimento, verificando-se o actual incumprimento regulamentar (fig. 71), aproximadamente 300 % acima dos valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento no edifício dos anos 40 e aproximadamente 160 % no edifício dos anos 80. Pode-se conferir que em todas as fracções analisadas, tanto as necessidades de energia para arrefecimento como de preparação de água quente sanitária (fig. 72 e 73) verificam os valores limites do regulamento, reforçando a ideia de que a maior preocupação nos edifícios existentes reside nas necessidades de aquecimento dos espaços interiores a temperaturas de conforto. No que se refere às necessidades globais anuais específicas de energia primária, (fig. 74), verifica-se o não cumprimento das fracções diagnosticadas, resultado do incumprimento do limite das necessidades de energia para aquecimento e o peso atribuído ao consumo de energia de preparação de AQS do actual regulamento, que exerce pressão na implementação de medidas solares térmicas. De uma forma geral, estes gráficos confirmam a necessidade de reforçar termicamente a envolvente dos edifícios e evoluir para níveis de isolamento térmico muito superiores.



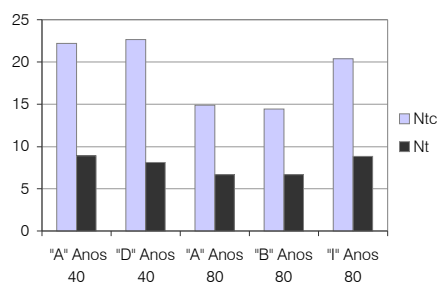
**Figura 71** Necessidades de Energia Útil para Aquecimento (Nic) [kWh/m².ano]



**Figura 72** Necessidades de Energia Útil para Arrefecimento (Nvc) [kWh/m².ano]



**Figura 73** Necessidades de Energia Útil para AQS (Nac) [kWh/m².ano]



**Figura 74** Necessidades de Energia Primária (Ntc) [kWh/m².ano]

## 6.4 PROPOSTA DE REQUALIFICAÇÃO ENERGÉTICA

### 6.4.1 Dados e requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente

De acordo com o anexo IX do RCCTE, o regulamento prevê ainda os valores do coeficiente de transmissão térmica que devem ser considerados na concepção da envolvente opaca dos edifícios, quer em zona corrente, quer em zonas não correntes da envolvente, bem como estipula um factor solar admissível para os vãos envidraçados. No Quadro 10 são indicados os limites impostos para os coeficientes de transmissão térmica de referência e os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para cada elemento da envolvente, em função da zona climática de Inverno em estudo. Embora os valores de referência não sejam obrigatórios, será neste sentido que de momento o mercado irá evoluir, embora no futuro se tenham que desenvolver soluções com valores bastante mais baixos.

Elemento da Envolvente	Zona Climática <b>I2</b>	
	Valor de referência	Valor máximo admissível
Elementos exteriores em zona corrente:		
a) Zonas opacas verticais	0,60	1,60
b) Zonas opacas horizontais	0,45	1
Elementos interiores em zona corrente:		
c) Zonas opacas verticais	1,20	2
d) Zonas opacas horizontais	0,90	1,3
Envidraçados	3,30	

**Quadro 10** Valores de referência e máximos do coeficiente de transmissão térmica [W/m<sup>2</sup>.°C]

Nenhum vão envidraçado da envolvente de qualquer edifício (Zona Climática V1), com área total superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que serve, pode apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com respectivos dispositivos de protecção 100% activos que exceda os valores representados no Quadro 11. Neste requisito são isentos os casos cuja orientação se inclua no quadrante Norte. Nos casos existentes, observa-se um factor solar de 0.07 (vidro simples com protecção exterior de estore de réguas plásticas) quando os dispositivos estão activados a 100% - Quadro V.4 do regulamento.

Vão Envidraçado Factor Solar – 5% da área útil	Zona Climática <b>V1</b>	
	Valor de referência	Valor máximo admissível
Classe de Inércia térmica		
e) Fraca	-	0,15
f) Média	0,20	0,56
g) Forte	0,20	0,56

**Quadro 11** Valores de referência e máximos dos factores solares de vãos envidraçados com mais de 5% da área útil do espaço que servem

Na definição da solução construtiva, o critério adoptado de reforço térmico aplicado pela face exterior vê justificação nas condicionantes existentes em cada caso de estudo. No caso de

estudo 1 - edifício dos anos 40, seria possível a aplicação do isolamento pela face interior, contudo a área útil da habitação apresenta-se bastante reduzida o que uma intervenção pelo lado interior reduziria substancialmente a mesma. Por outro lado, tratando-se de paredes de alvenaria de granito, o isolamento pelo exterior permitiria potenciar toda a massa térmica, contribuindo para uma maior estabilização das temperaturas no ambiente interior. No edifício dos anos 80, caso de estudo 2, a envolvente exterior apresenta alguns sinais de degradação, nomeadamente no revestimento cerâmico que mostra fissuras longitudinais em inúmeros pontos da fachada, o que leva a acreditar que uma possível intervenção de reabilitação passaria forçosamente por uma reabilitação da fachada exterior. No Quadro 12 (edifício anos 40) e 13 (edifício anos 80) são propostos quatro níveis de qualidade para os valores de coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente (U) em função dos valores de referência e máximos preconizados no RCCTE.

Elemento da Envolvente	Zona Climática I2				
	Nível de Qualidade	e [mm]	U [W/m².ano]	U Valor de referência [W/m².ano]	Valor máximo admissível
Elementos exteriores em zona corrente:					
a) Zonas opacas verticais	N0	0	3,33	0,60	1,60
	N1	40	0,72		
	N2	60	0,52		
	N3	80	0,40		
	N4	100	0,33		
Elementos interiores em zona corrente:					
b) Zonas opacas horizontais	N0	0	3,22	0,90	1,3
	N1	40	0,71		
	N2	60	0,51		
	N3	80	0,40		
	N4	100	0,33		
Envidraçados	N0	manter	3,4	3,30	-
	N1		2,5		
	N2		2,0		
	N3	substituir	2,7		
	N4		2,3		

**Quadro 12** Valores do coeficiente de transmissão térmica [W/m<sup>2</sup>.°C] edifício anos 40 – Caso de estudo 1

Importa referir que o estudo marginaliza as instalações e equipamentos de acondicionamento (aquecimento e arrefecimento) focando a análise nos factores referentes à arquitectura e à construção do edifício em si, antes de incorporar uma máquina, considerando que um meio envolvente bem construído, termicamente bem dimensionado adequa-se melhor aos critérios de sustentabilidade exigíveis. Seguindo quatro níveis de qualidade, foram aplicadas diversas espessuras de isolamento, de modo a que numa primeira fase se cumprisse com os requisitos mínimos, subindo gradualmente a espessura até atingir níveis optimizados de desempenho. As soluções propostas têm por base o diagnóstico energético dos casos de estudo analisados. A área envidraçada foi reforçada termicamente utilizando também quatro níveis de qualidade, nos dois primeiros níveis mantém-se a caixilharia existente reforçando apenas a área de vidro, na



segunda fase opta-se por substituir todo o vão envidraçado por uma caixilharia com melhor desempenho. A metodologia adoptada para cada nível de qualidade encontra-se detalhada no capítulo anterior (ver Cap. 5.1).

Elemento da Envolvente	Zona Climática I2				
	Nível de Qualidade	e [mm]	U [W/m².ano]	U Valor de referência [W/m².ano]	Valor máximo admissível
Elementos exteriores em zona corrente:					
a) Zonas opacas verticais	N0	0	1,09	0,60	1,60
	N1	40	0,50		
	N2	60	0,39		
	N3	80	0,33		
	N4	100	0,28		
b) Zonas opacas horizontais	N0	0	2,17	0,45	1
	N1	40	0,65		
	N2	60	0,48		
	N3	80	0,38		
	N4	100	0,32		
Elementos interiores em zona corrente:					
a) Zonas opacas verticais	N0	0	2,70	1,20	2
	N1	20	1,18		
	N2	30	0,93		
	N3	40	0,76		
b) Zonas opacas horizontais (1)	N0	0	1,43	0,90	1,3
	N1	40	0,55		
	N2	50	0,48		
	N3	60	0,42		
Zonas opacas horizontais (2)	N0	0	2,44	0,90	1,3
	N1	40	0,67		
	N2	60	0,49		
	N3	80	0,39		
	N4	100	0,32		
Envidraçados	N0	manter	4,1	3,30	-
	N1		3,1		
	N2		2,7		
	N3	substituir	2,7		
	N4		2,3		

**Quadro 13** Valores do coeficiente de transmissão térmica [W/m².°C] edifício anos 80 – Caso de estudo 2.

Toda a envolvente foi revestida com placas de poliestireno expandido moldado (EPS), de massa volúmica >20 (Kg/m³), aplicado pela parte exterior. Esta solução é mais efectiva do que colocar o isolamento do lado interior por duas principais razões: técnica/construtiva e social, sendo que a aplicação do isolamento pelo exterior não interfere na ocupação das respectivas habitações. Adiante se quantificarão as perdas térmicas com as soluções construtivas optimizadas.

#### 6.4.2 Quantificação das trocas energéticas associadas à envolvente térmica do edifício

As perdas através da zona corrente exterior, que resultam da soma das perdas pela envolvente opaca e pontes térmicas, apresentam-se na tabela 27. Importa referir a ordem de grandeza das perdas relativamente às perdas com o existente.

**Tabela 27** Contabilização das perdas pela zona corrente exterior proposto [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior N1	2240,37	2054,59	2423,11	1497,30	1812,60
	Zona Corrente Exterior N2	1854,24	1850,31	1944,36	1260,82	1812,60
	Zona Corrente Exterior N3	1624,38	1548,81	1668,08	1127,12	1812,60
	Zona Corrente Exterior N4	1488,59	1370,51	1486,48	1030,91	1812,60
	<b>Zona Corrente Exterior Existente</b>	<b>9526,35</b>	<b>10033,42</b>	<b>7324,58</b>	<b>4234,12</b>	<b>0,00</b>

As perdas através da zona corrente interior, que resultam da soma das perdas pela envolvente opaca interior, perdas para locais não aquecidos e pontes térmicas, apresentam-se na tabela 28.

**Tabela 28** Contabilização das perdas pela zona corrente interior proposto [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Interior N1	323,53	2270,28	2559,12	3023,58	2392,20
	Zona Corrente Interior N2	282,21	1794,02	2379,45	2795,60	1928,90
	Zona Corrente Interior N3	246,78	1502,37	2253,87	2650,31	1652,63
	Zona Corrente Interior N4	170,42	1313,44	2228,36	2604,33	1480,29
	<b>Zona Corrente Interior Existente</b>	<b>805,69</b>	<b>7155,26</b>	<b>4398,76</b>	<b>5365,11</b>	<b>10983,36</b>

Na tabela 29 quantificam-se as perdas resultantes pela área envidraçada em todos os casos em estudo.

**Tabela 29** Contabilização das perdas pelos envidraçados propostos [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Vãos Envidraçados N1	1052,09	1466,16	1858,81	1857,81	1662,67
	Vãos Envidraçados N2	841,51	1172,92	1618,24	1618,24	1448,22
	Vãos Envidraçados N3	1135,92	1533,45	1618,24	1618,24	1448,22
	Vãos Envidraçados N4	967,86	1348,86	1378,28	1378,28	1233,35
	<b>Vãos Envidraçados Existente</b>	<b>1640,99</b>	<b>1993,97</b>	<b>2457,11</b>	<b>2457,11</b>	<b>0,00</b>

### 6.4.3 Cálculo das necessidades de energia útil para Aquecimento

Os valores das várias parcelas bem como das necessidades de energia útil de aquecimento anuais são apresentados nas tabelas 30, 31, 32 e 33, correspondentes a cada nível de qualidade referido.

#### a) N1 - Necessidades de Energia para Aquecimento

**Tabela 30 Solução N1** - Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	2240,37	2054,59	2423,11	1497,30	1812,60
	Zona Corrente Interior	323,53	2270,28	2559,12	3023,58	2392,20
	Ventilação	2525,33	2848,08	4635,25	4335,25	3222,18
	Envidraçados	1052,09	1466,16	1858,81	1857,81	1662,67
	Ganhos Úteis (Solares+Internos)	2133,00	2399,22	3633,70	3630,32	2409,23
	<b>Nec. de Aquecimento</b>	<b>4008,22</b>	<b>6357,95</b>	<b>7841,53</b>	<b>7383,79</b>	<b>6680,24</b>

## b) N2 - Necessidades de Energia para Aquecimento

**Tabela 31 Solução N2** - Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	1854,24	1850,31	1944,36	1260,82	1812,60
	Zona Corrente Interior	282,21	1794,02	2379,45	2795,60	1928,90
	Ventilação	2525,33	2848,08	4635,25	4635,25	3222,18
	Envidraçados	841,51	1172,92	1618,24	1618,24	1448,22
	Ganhos Úteis (Solares+Internos)	2124,61	2400,89	3626,46	3623,73	2406,88
	<b>Nec. de Aquecimento</b>	<b>3378,94</b>	<b>5271,12</b>	<b>6950,52</b>	<b>6685,88</b>	<b>6004,72</b>

## c) N3 - Necessidades de Energia para Aquecimento

**Tabela 32 Solução N3** - Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	1624,38	1548,81	1668,08	1127,12	1812,60
	Zona Corrente Interior	246,78	1502,37	2253,87	2650,31	1652,63
	Ventilação	2084,89	2346,64	3708,28	3708,28	2636,40
	Envidraçados	1135,92	1533,45	1618,24	1618,24	1448,22
	Ganhos Úteis (Solares+Internos)	2116,49	2388,84	3609,02	3606,40	2402,28
	<b>Nec. de Aquecimento</b>	<b>2975,88</b>	<b>4592,41</b>	<b>5639,32</b>	<b>5497,36</b>	<b>5147,42</b>

## d) N4 - Necessidades de Energia para Aquecimento

**Tabela 33 Solução N4** - Contabilização das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento [kWh/ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Perdas (kWh/Ano)	Zona Corrente Exterior	1488,59	1370,51	1486,48	1030,91	1812,60
	Zona Corrente Interior	170,42	1313,44	2228,36	2604,33	1480,29
	Ventilação	2084,89	2346,64	3708,28	3708,28	2636,40
	Envidraçados	967,86	1348,86	1378,28	1378,28	1233,35
	Ganhos Úteis (Solares+Internos)	2106,02	2381,78	3600,31	3598,55	2399,30
	<b>Nec. de Aquecimento</b>	<b>2605,68</b>	<b>3997,97</b>	<b>5201,25</b>	<b>5123,20</b>	<b>4763,57</b>

À semelhança do que já foi feito com a análise ao edificado existente, com base nos resultados obtidos calcularam-se vários índices relativos às necessidades de energia útil de aquecimento comparativamente com os resultados da face inicial, tendo por base os coeficientes de transmissão térmica de referência. Seguidamente são descritos esses índices e a sua forma de cálculo, bem como os valores que tomam para os casos de estudo analisados (Fig. 75).

### a) Impacte das melhorias propostas N1 nas necessidades de energia útil de aquecimento:

$$I_{Naq\ 1} = \frac{Naq\ N1}{Naq\ existente} \quad [\%]$$

### b) Impacte das melhorias propostas N2 nas necessidades de energia útil de aquecimento:

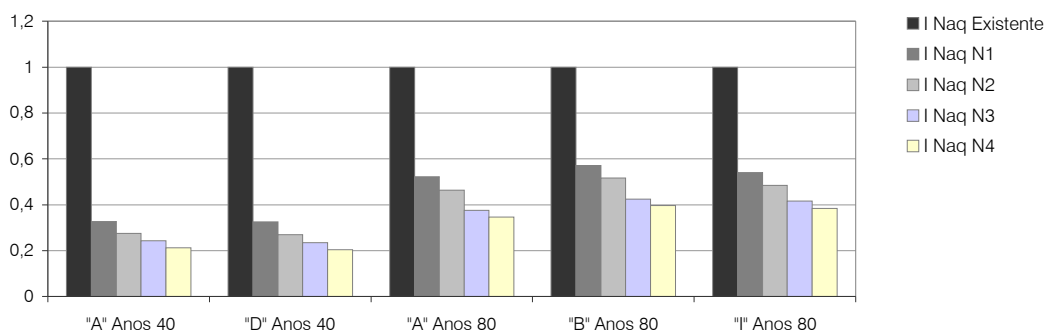
$$I_{Naq\ 2} = \frac{Nac.\ N2}{Naq\ existente} \quad [\%]$$

**c) Impacte das melhorias propostas N2 nas necessidades de energia útil de aquecimento:**

$$I_{Naq\ 3} = \frac{Naq\ N3}{Naq\ existente} \quad [\%]$$

**d) Impacte das melhorias propostas N2 nas necessidades de energia útil de aquecimento:**

$$I_{Naq\ 4} = \frac{Naq\ N4}{Naq\ existente} \quad [\%]$$



**Figura 75** Índices comparativos do consumo de Energia Útil para Aquecimento

#### 6.4.4 Quantificação do consumo de energia associado aos sistemas e instalações

##### 6.4.4.1 Soluções de Preparação de Águas Quentes Sanitárias

Para o cálculo das necessidades de Aquecimento das AQS considera-se três situações distintas para os edifícios em estudo, correspondendo aos distintos sistemas de apoio do sistema térmico solar. Os sistemas de apoio para aquecimento de águas sanitárias propostos definem três níveis de qualidade, no primeiro nível propõe-se a utilização de esquentadores a gás, com eficiência de 0,5, no segundo nível é proposto a utilização de termoacumuladores eléctricos, com eficiência de 0,95 e por último uma caldeira mural com acumulação com pelo menos 100 mm de isolamento, com eficiência de 0,87. Importa considerar que por se tratar de uma reabilitação as redes internas de distribuição de água quente não são isoladas e por conseguinte os valores de conversão do sistema ( $\eta_a$ ) devem ser diminuídos em 10 %. Ambos os edifícios apresentam exposições adequadas para a instalação de painéis solares, sem qualquer tipo de sombreamento na cobertura, local onde serão instalados os colectores solares térmicos. Determina-se o contributo por intermédio do software previsto no regulamento (*SolTerm*), usando um colector solar genérico existente na base de dados (Kaplan 2.0) com as seguintes características:

##### Caso de Estudo 1 - térmicos da Kaplan 2.0, Plano

Kaplan 2.0 Colector Plano 3 ocupantes	<b>T2</b>	
	1 módulo	Área 3,00 m <sup>2</sup>
	$\eta_0$	0,73
	a1	4,700 W/m <sup>2</sup> /K
	a2	0,010 W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>

## Caso de Estudo 2 - térmicos da Kaplan 2.0, Plano

	T4		T3
Kaplan 2.0	3/2 módulos	Área 5,50 m <sup>2</sup>	Área 4,00 m <sup>2</sup>
Colector Plano	$\eta_0$	0,73	0,73
3 ocupantes	a1	4,700 W/m <sup>2</sup> /K	4,700 W/m <sup>2</sup> /K
	a2	0,010 W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>	0,010 W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>

A este sistema de preparação de água quente solar, AQS, está associado um reservatório em aço inox de 200 l., com 15 cm de isolamento, instalado na vertical para cada fracção localizado no desvão da cobertura. Nas seguintes tabelas 34, 35 e 36, demonstram-se os resultados:

### Nível – N1 Pannel Solar + esquentador a gás [ $\eta_a = 0,50$ – ( 0,10 rede não isolada)]

**Tabela 34** Cálculo das necessidades energéticas para AQS

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/Ano)	Consumo médio diario refer. $M_{AQS}$	120	120	200	200	160
	Neces. Brutas de Aquec. AQS	5730,96	5730,96	9551,59	9551,59	7641,28
	Esolar	2016,00	2016,00	3345,00	3345,00	1751,00
	Necessidades de Aquec. AQS	3714,96	3714,96	6206,59	6206,59	5890,28

### Nível – N2 Pannel Solar + termoacumulador eléctrico [ $\eta_a = 0,95$ – (0.10 rede não isolada)]

**Tabela 35** Cálculo das necessidades energéticas para AQS

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/Ano)	Consumo médio diario refer. $M_{AQS}$	120	120	200	200	160
	Neces. Brutas de Aquec. AQS	3264,83	3264,83	5458,05	5458,05	4366,44
	Esolar	2016,00	2016,00	3345,00	3345,00	1751,00
	Necessidades de Aquec. AQS	1248,83	1248,83	2113,05	2113,05	2615,44

### Nível – N3 Pannel Solar + caldeira mural com acumulação [ $\eta_a = 0,87$ – (0.10 rede não isolada)]

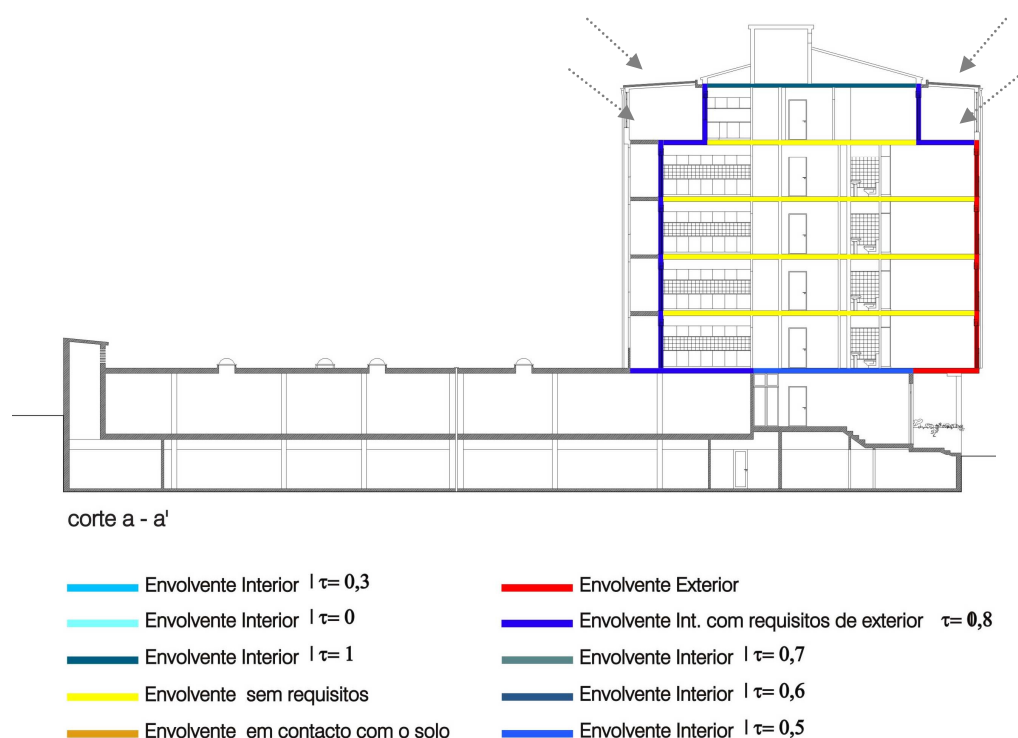
**Tabela 36** Cálculo das necessidades energéticas para AQS

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
(kWh/Ano)	Consumo médio diario refer. $M_{AQS}$	120	120	200	200	160
	Neces. Brutas de Aquec. AQS	2977,12	2977,12	4961,87	4961,87	3969,49
	Esolar	2016,00	2016,00	3345,00	3345,00	1751,00
	Necessidades de Aquec. AQS	961,12	961,12	1616,87	1616,87	2218,49

#### 6.4.4.2 Elementos especiais e Iluminação natural

Nos edifícios as perdas e os ganhos de calor pela cobertura assumem por vezes um papel particularmente importante, nomeadamente nos casos em que aquele elemento construtivo possui uma percentagem de área elevada relativamente aos restantes elementos construtivos. É pois um dos elementos da envolvente a ter mais cuidado a fim de evitar situações de desconforto assinaláveis.

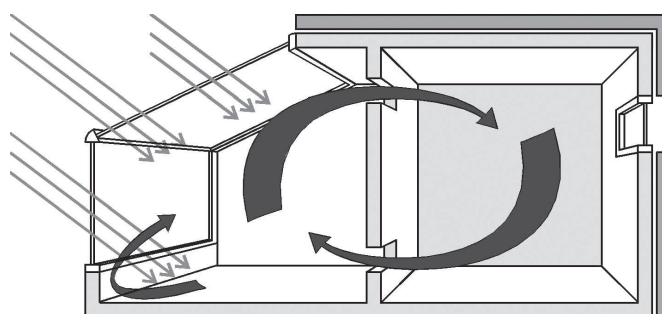
O caso de estudo 2 – edifício dos anos 80, apresenta uma situação particular, não regulamentar ao nível do recuado, segundo o processo de obras consultado na Câmara Municipal do Porto e no confronto com o existente. Na situação actual, a fracção apresenta no terraço que conformava o recuado do edifício uma cobertura opaca de estrutura leve revestida com placas de fibrocimento, transformando toda esta área em envolvente interior de contacto com um local não aquecido, conforme se pode observar na figura 76. Esta condicionante limita, por um lado, as perdas associadas à envolvente exterior, mas por outro lado esta situação torna-se bastante penalizadora, para o cálculo das necessidades de aquecimento, considerando que este facto anula os ganhos directos incidentes na área envidraçada.



**Figura 76** Corte longitudinal do edifício dos anos 80 – caso de estudo 2.

Na procura de caminhos mais correctos para a concretização dos princípios de sustentabilidade do conforto térmico no construído, admite-se a possibilidade de promover o aproveitamento da energia solar passiva pela substituição das placas de fibrocimento existentes por elementos mais transparentes, tipo policarbonato de forma a aproveitar os ganhos solares e o possível armazenamento de energia captada. O conceito geral reside na possibilidade de transformar estes espaços cobertos em estufas, num sistema de ganho isolado que opera independentemente do edifício. A energia solar captada poderia ser transmitida por condução através da parede de armazenamento que separa os espaços (interior/Ina) e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitem a circulação de ar (fig. 77).

O efeito dos sistemas passivos não é quantificável seguindo o método de cálculo no RCCTE. À luz deste regulamento considera-se este sistema como sendo “neutro”, não se considerando perdas térmicas através das áreas exteriores das paredes de armazenamento térmico, nem ficam sujeitos a requisitos mínimos no valor dos coeficientes de transmissão térmica, pois, no balanço global anual, contribuem de forma positiva para o aquecimento ambiente na estação fria. Neste sentido justifica-se o facto de não serem quantificados os efeitos sobre as necessidades de aquecimento. Aponta-se esta solução como uma vantagem do processo, de que a acção do trabalho a desenvolver se enquadre na promoção do desenvolvimento sustentável.



**Figura 77** Sistema de ganho isolado

Por outro lado, esta solução implica uma melhoria efectiva da qualidade do espaço interior, nomeadamente no que se refere à luz natural, pois a luz solar contribui em grande medida para o conforto natural; à temperatura pelo tratamento térmico destes espaços que agora se transformam em locais aquecidos por energia solar e à possível ventilação dos espaços interiores com o recurso a grelhas de ventilação controladas, permitindo uma melhor qualidade do ar interior.

#### 6.4.5 Necessidades energéticas dos Casos de Estudo e Verificação Regulamentar

Para os diversos níveis de qualidade, e com base nos dados referidos, foram quantificados os indicadores energéticos que de seguida se apresentam nas tabelas 37, 38, 39 e 40 - necessidades de aquecimento, tabelas 41, 42, 43 e 44- necessidades de arrefecimento.

##### a) Nic - Necessidades de Aquecimento

##### Nível - N1

**Tabela 37** Cálculo do Indicador do Nic - N1 [kWh/m².ano]

	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
	Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
Nec. Nominais de Aquec - <b>Nic</b>	68,17	95,04	57,79	54,41	83,89
Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Ni</b>	<b>69,28</b>	<b>87,08</b>	<b>68,80</b>	<b>68,10</b>	<b>74,84</b>
Situação actual	CUMPRE	NÃO CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	NÃO CUMPRE

## Nível - N2

**Tabela 38** Cálculo do Indicador do Nic - N2 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec - <b>Nic</b>	57,46	78,79	51,22	49,27	75,41
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Ni</b>	<b>69,28</b>	<b>87,08</b>	<b>68,80</b>	<b>68,10</b>	<b>74,84</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	NÃO CUMPRE

## Nível - N3

**Tabela 39** Cálculo do Indicador do Nic - N3 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec - <b>Nic</b>	50,61	68,65	41,56	40,51	64,64
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Ni</b>	<b>69,28</b>	<b>87,08</b>	<b>68,80</b>	<b>68,10</b>	<b>74,84</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

## Nível - N4

**Tabela 40** Cálculo do Indicador do Nic - N4 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec - <b>Nic</b>	44,31	59,76	38,33	37,75	59,82
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Ni</b>	<b>69,28</b>	<b>87,08</b>	<b>68,80</b>	<b>68,10</b>	<b>74,84</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

## b) Nvc - Necessidades de Arrefecimento

### Nível - N1

**Tabela 41** Cálculo do Indicador do Nvc - N1 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Arref - <b>Nvc</b>	1,37	1,02	1,14	1,59	2,22
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Nv</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

### Nível - N2

**Tabela 42** Cálculo do Indicador do Nvc - N2 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Arref - <b>Nvc</b>	1,65	0,55	1,41	1,82	2,49
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Nv</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

### Nível - N3

**Tabela 43** Cálculo do Indicador do Nvc N3 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Arref - <b>Nvc</b>	1,88	1,43	2,17	2,68	3,45
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Nv</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE



## Nível – N4

**Tabela 44** Cálculo do Indicador do Nvc N4 [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Arref - <b>Nvc</b>	2,18	1,71	2,51	3,01	3,89
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Nv</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

Para o cálculo das necessidades anuais de energia para preparação de AQS e necessidades globais de Energia Primária que se apresentam nas tabelas seguintes, distinguem-se os três níveis de qualidade para as AQS descritas anteriormente. Consideraram-se as diferentes configurações construtivas, em termos dos elementos da envolvente e dos níveis de isolamento, e obtiveram-se diferentes valores para o indicador Nac (tabelas 45, 46 e 47) e Ntc (figuras 78 a 85).

## Nível – N1 Pannel Solar + esquentador a gás [ $\eta_a = 0,50 - (0,10 \text{ rede não isolada})$ ]

**Tabela 45** Cálculo do Indicador do Nac [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec AQS- <b>Nac</b>	<b>63,18</b>	<b>55,53</b>	<b>45,74</b>	<b>45,74</b>	<b>73,97</b>
	Nec. Nomin. Aquec. AQS Máx - <b>Na</b>	<b>60,34</b>	<b>53,03</b>	<b>43,57</b>	<b>43,57</b>	<b>59,40</b>
	Situação actual	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE	NÃO CUMPRE

## Nível – N2 Pannel Solar + termoacumulador eléctrico [ $\eta_a = 0,95 - (0,10 \text{ rede não isolada})$ ]

**Tabela 46** Cálculo do Indicador do Nac [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec AQS- <b>Nac</b>	21,41	18,82	15,57	15,57	32,84
	Nec. Nomin. Aquec. AQS Máx - <b>Na</b>	<b>60,34</b>	<b>53,03</b>	<b>43,57</b>	<b>43,57</b>	<b>59,40</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

## Nível – N3 Pannel Solar + caldeira mural com acumulação [ $\eta_a = 0,87 - (0,10 \text{ rede não isolada})$ ]

**Tabela 47** Cálculo do Indicador do Nac [kWh/m².ano]

		CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Fracção A	Fracção D	Fracção A	Fracção B	Fracção I
	Nec. Nominais de Aquec AQS- <b>Nac</b>	16,35	14,37	11,92	11,92	27,86
	Nec. Nomin. Aquec. AQS Máx - <b>Na</b>	<b>60,34</b>	<b>53,03</b>	<b>43,57</b>	<b>43,57</b>	<b>59,40</b>
	Situação actual	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE	CUMPRE

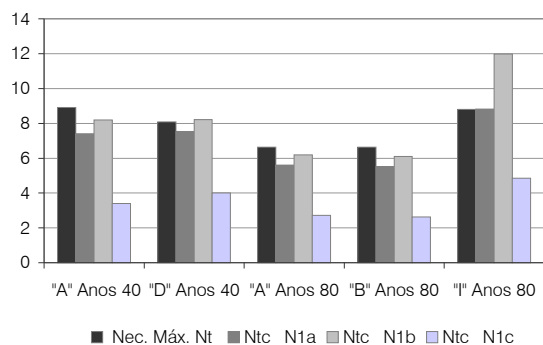
#### d) Ntc - Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária

**N\_a** [ Aquecimento: Resistência Eléctrica | Arrefecimento: Bomba de Calor | AQS: Solar+ Esquentador a gás ]

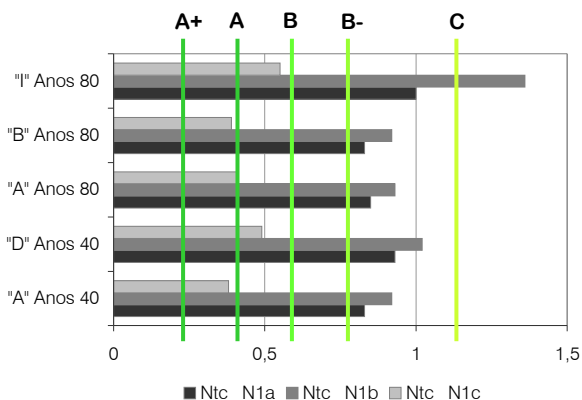
**N\_b** [ Aquecimento: Resistência Eléctrica | Arrefecimento: Bomba de Calor | AQS: Solar+ termoacumulador eléctrico ]

**N\_c** [ Aquecimento: Resistência Eléctrica | Arrefecimento: Bomba de Calor | AQS: Solar+ caldeira mural c/ acumulação ]

##### Nível – N1

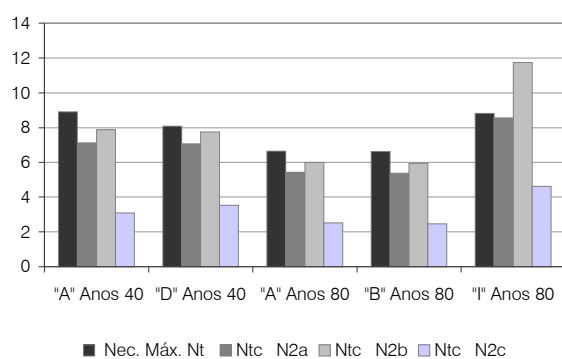


**Figura 78** Necessidades Nominais anuais de Energia Primária (Ntc) **N1**

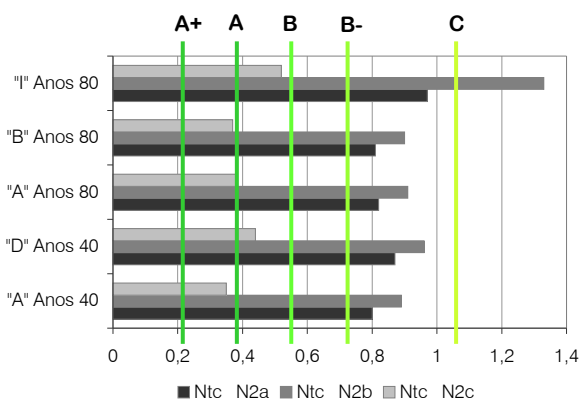


**Figura 79** Classificação Energética (Ntc/Nt) **N1**

##### Nível – N2

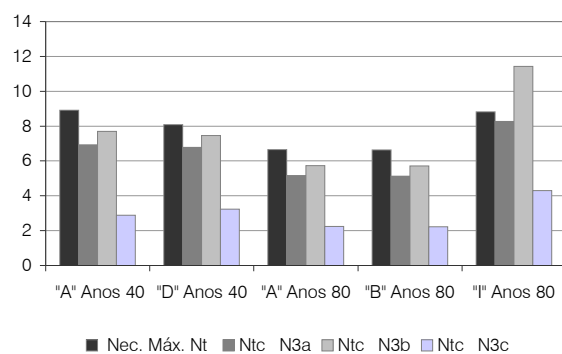


**Figura 80** Necessidades Nominais anuais de Energia Primária (Ntc) **N2**

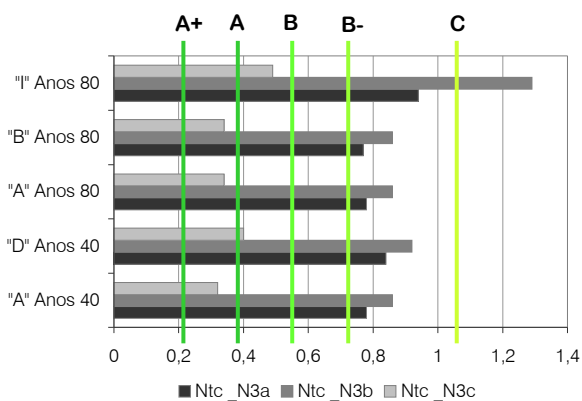


**Figura 81** Classificação Energética (Ntc/Nt) **N2**

##### Nível – N3

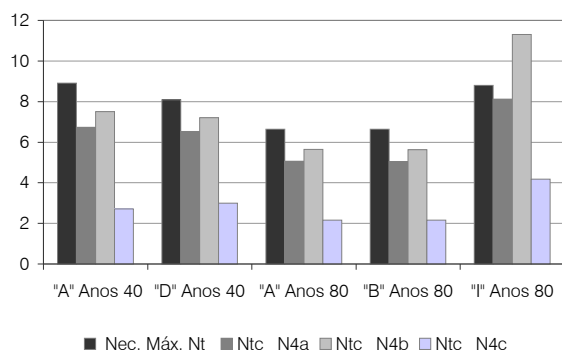


**Figura 82** Necessidades Nominais anuais de Energia Primária (Ntc) **N3**

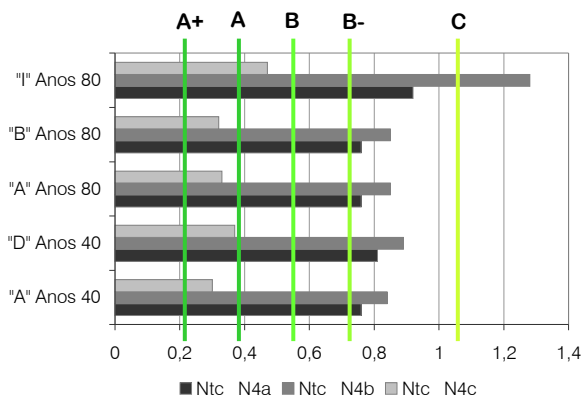


**Figura 83** Classificação Energética (Ntc/Nt) **N2**

## Nível – N4



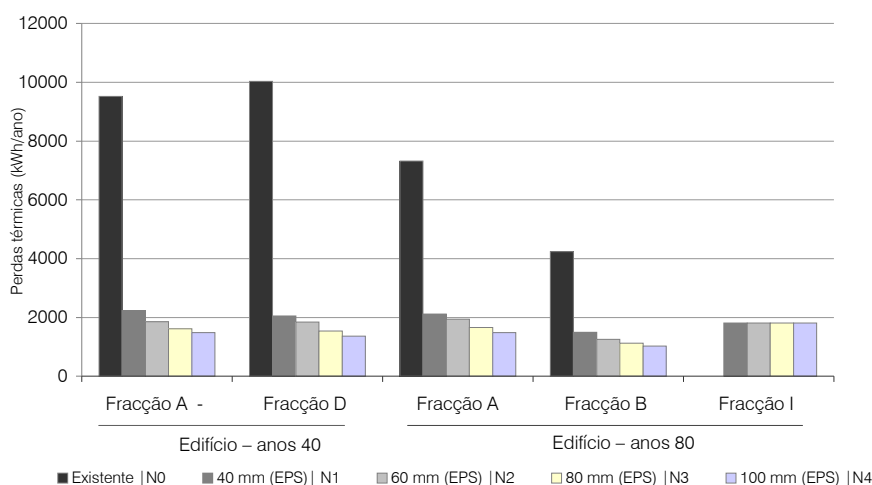
**Figura 84** Necessidades Nominais anuais de Energia Primária (Ntc) N4



**Figura 85** Classificação Energética (Ntc/Nt) N4

### 6.4.6 Discussão dos resultados dos casos de estudo

A análise dos resultados do comportamento energético do existente nas fracções escolhidas, permite salientar, numa primeira análise, uma redução considerável das perdas térmicas pela zona corrente exterior, com uma economia anual de aproximadamente 8000 kWh, para o edifício dos anos 40, e 4500 kWh para o edifício dos anos 80, equivalentes a 3440kg e 1935 respectivamente de emissões de CO<sub>2</sub>. A Figura 86, fala por si, podendo salientar-se o seguinte: para as condições admitidas, o isolamento exigido para a envolvente opaca correspondente ao nível 1 comporta uma redução energética de (76 a 79 %) sobre o existente no caso de estudo 1 – edifício dos anos 40, e (64 a 66 %) para o edifício dos anos 80, equivalente a valores de espessura de 40 mm de isolamento. O aumento gradual desta espessura expresso nos níveis seguintes (60 – 80 – 100 mm) representa reduções de consumo de (84% a 86%) para o edifício dos anos 40 e (76% a 79%) para o edifício dos anos 80 comparativamente ao actual.

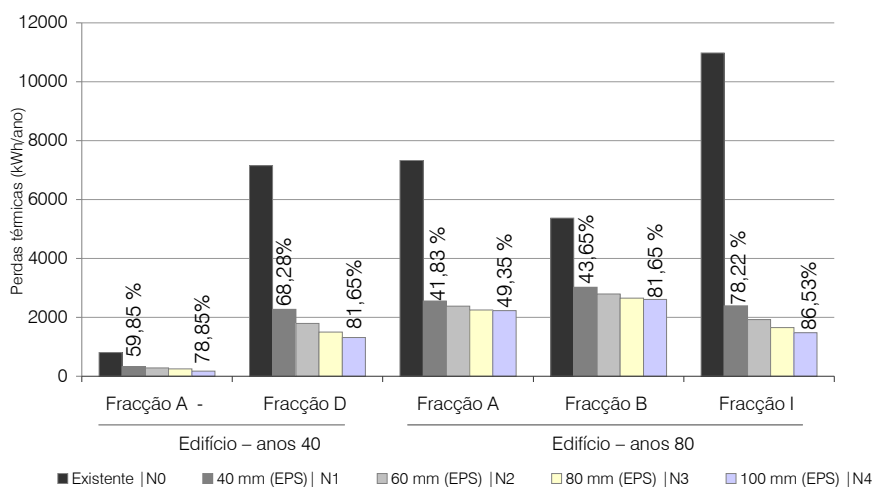


**Figura 86** Resultados da melhoria térmica da zona corrente exterior face o existente [kWh/ano]

A aplicação do isolamento na envolvente opaca dos edifícios favorece, principalmente a redução da procura energética para aquecimento e melhorar a qualidade de ar no interior da

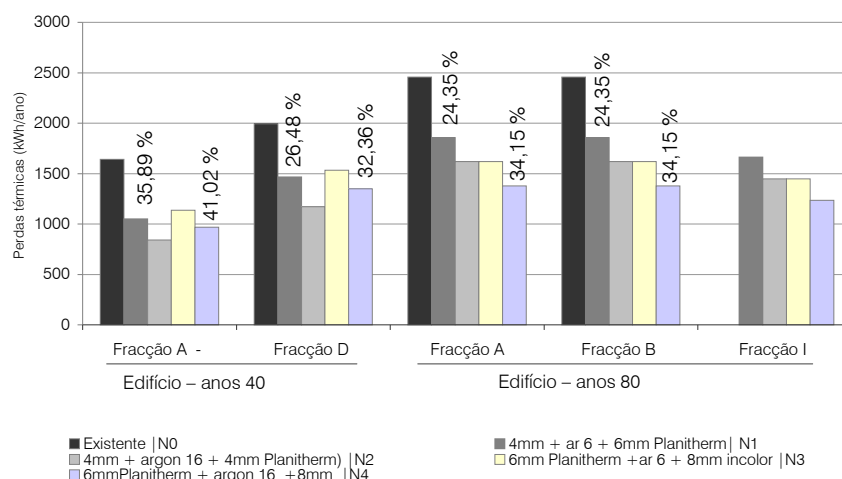
habitação pelo aumento do nível de conforto. Constatase que a diferença dos resultados obtidos no caso de estudo 1 e 2 resulta do facto de a área de intervenção ser superior no primeiro, existindo maior contacto com o exterior, assim a redução associada cresce em função da relação superfície afectada pela reabilitação em relação à superfície total da envolvente.

Ambos os edifícios apresentavam expressivas perdas térmicas na envolvente interior, sobretudo as fracções que delimitam a cobertura, que pela inexistência do isolamento apresentavam valores de  $U$  bastante elevados, claramente não regulamentares, transformando-se em intervenções prioritárias no contexto das perdas térmicas globais. Na figura 87 pode-se verificar os ganhos obtidos com a implementação desta medida, que apenas cumprindo os requisitos mínimos de valores de  $U$  para a envolvente interior, seria possível reduzir (59 a 78%) das perdas térmicas no edifício dos anos 40 e (41 a 78%) no edifício dos anos 80, sob condições ambientais de conforto de referência. De salientar ainda que os níveis de qualidade propostos apresentam soluções apenas de intervenção exterior à área habitável, reduzindo de certo modo o potencial de melhorias nesta zona onde a área de contacto é substancialmente maior. Significa que, introduzindo novos parâmetros de intervenção, nomeadamente no interior das habitações, a diminuição das perdas alcançará certamente melhores desempenhos.



**Figura 87** Resultados da melhoria térmica da zona corrente interior face o existente [kWh/ano]

Um importante aspecto que possui relação directa com a estratégia geral de limitação dos consumos de energia nas habitações prescreve-se à zona dos vãos envidraçados. Por um lado torna-se importante controlar as perdas e promover os ganhos na estação fria e por outro lado importa limitar os ganhos e promover as perdas na estação quente. Dadas as características construtivas e a repercussão que detém sobre o isolamento térmico da envolvente do edifício, as características dos vãos envidraçados apresentam-se como o primeiro elemento a valorizar tanto técnica como economicamente no momento de promover medidas de reabilitação térmica e energética do edifício.



**Figura 88** Resultados da melhoria térmica dos vãos envidraçados face o existente [kWh/ano]

Como resumo deste ponto, a figura 88 recolhe as percentagens de redução de perdas através dos vãos envidraçados, partindo de uma situação inicial definida como o limite de conforto interior, evitando o efeito de parede fria. Mantendo a caixilharia existente, reforçando apenas termicamente a parte envidraçada, pode-se reduzir o consumo energético anual de (26 a 35%) no edifício dos anos 40 e (24 a 34%) no edifício dos anos 80. Passando para um nível máximo de eficiência substituindo o actual caixilho por um de melhor desempenho com corte térmico, com materiais existentes no mercado, as reduções sobre os consumos actuais podem alcançar valores de 41 % para o caso de estudo 1 e 34 % no caso de estudo 2.

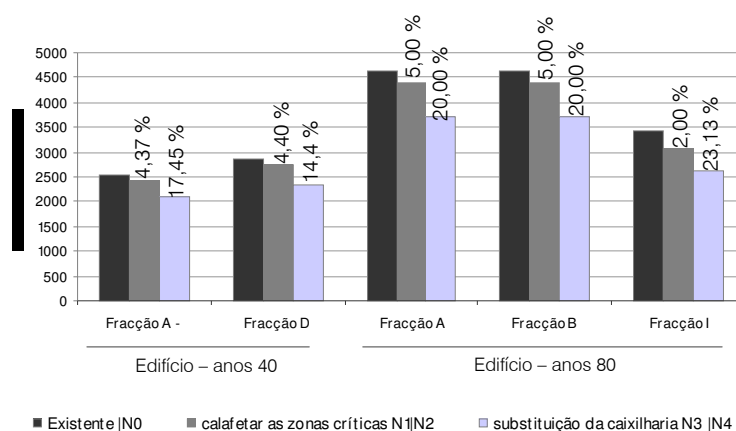
A reabilitação dos vãos envidraçados da fachada, como se pode verificar, tanto no que se refere à intervenção apenas ao nível dos vidros como a proposta otimizada de substituição da caixilharia, apresentam-se como uma melhor via para alcançar melhorias significativas no consumo energético dos edifícios e as consequentes reduções em termos económicos e ambientais, pela menor emissão de CO<sub>2</sub> derivados de uma menor necessidade de produção de energia para manter os ambientes interiores a uma temperatura de conforto.

Entre as soluções de caixilhos pode-se confirmar que o desempenho das caixilharias de madeira são sempre melhores do que as caixilharias de alumínio, mesmo quando substituídas por perfis com corte térmico. Será importante destacar o comportamento da caixilharia de madeira na fracção D no caso de estudo 1, que orientado no quadrante norte atinge melhores resultados (26%) do que uma caixilharia de alumínio orientado a nascente/poente como é o caso de estudo 2 (24 %), utilizando a mesmo tipo de reforço térmico. Neste edifício, particularmente com vãos envidraçados compostos por caixilharias de madeira, a substituição deste, não conduz forçosamente a uma redução substancial do consumo energético, mesmo quando se opta por uma solução otimizada (N4) que integra no seu interior uma lâmina de gás de isolamento térmico (argón). No edifício dos anos 80, o reforço térmico pelo aumento ou substituição de vidros existentes, apresenta resultados equivalentes, destacando-se apenas a opção de melhor

desempenho. O efeito das soluções de reforço introduzidas pela substituição do caixilho não apresenta vantagens em relação ao reforço térmico dos vãos envidraçados existentes, esta só é visível quando se considera as perdas de calor resultantes da renovação de ar. A renovação de ar das caixilharias contribui para a ventilação natural e evita a produção de condensações no interior, contudo estas renovações de ar implicam perdas de energia pelo que será necessário criar um equilíbrio entre elas.

A opção de substituição das caixilharias encontra justificação pela substancial redução de perdas térmicas resultantes da renovação do ar. Tal como o reforço do isolamento térmico na envolvente do edifício, a substituição das caixilharias contribui também para a redução das necessidades de consumo de energia, bem como para a melhoria das condições de conforto no interior dos edifícios. Nos presentes casos de estudo a taxa de ventilação estabelece-se entre as 1,14 - 0,94 r.p.h, conduzindo a perdas térmicas substanciais difíceis de controlar e de melhorar.

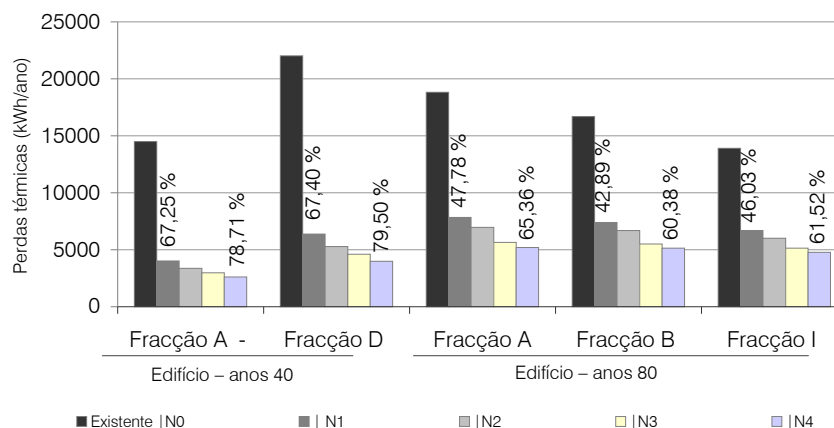
Na figura 89 é possível aferir os ganhos térmicos alcançados com os diversos níveis de qualidade propostos. Numa primeira análise será possível afirmar que em reabilitações os níveis (N1 e N2) de reforço térmico através da calafetagem de portas e janelas, pela renovação do sistema de vedantes, pode, por si só, proporcionar ganhos significativos, contudo quando se pretende otimizar a solução construtiva para níveis superiores de desempenho a substituição da caixilharia torna-se inevitável.



**Figura 89** Resultados da melhoria térmica através do controlo das entradas de ar face o existente [kWh/ano]

O efeito de todos estes níveis de qualidade e intervenção para os casos de estudo reflectem a possibilidade real de melhoria térmica na envolvente e assim reduzir substancialmente as necessidades de energia para aquecimento. Na figura 90 observa-se o panorama geral das necessidades de energia para aquecimento após a limitação das perdas térmicas pela envolvente. Numa primeira leitura será possível afirmar que o reforço térmico implementado tem um potencial de poupança energética importante e acessível. De facto, os resultados indicam estimativas de poupança na ordem dos 67% a 79 % no edifício dos anos 40, através da implementação de medidas como o isolamento térmico melhorado, reduzindo as infiltrações de

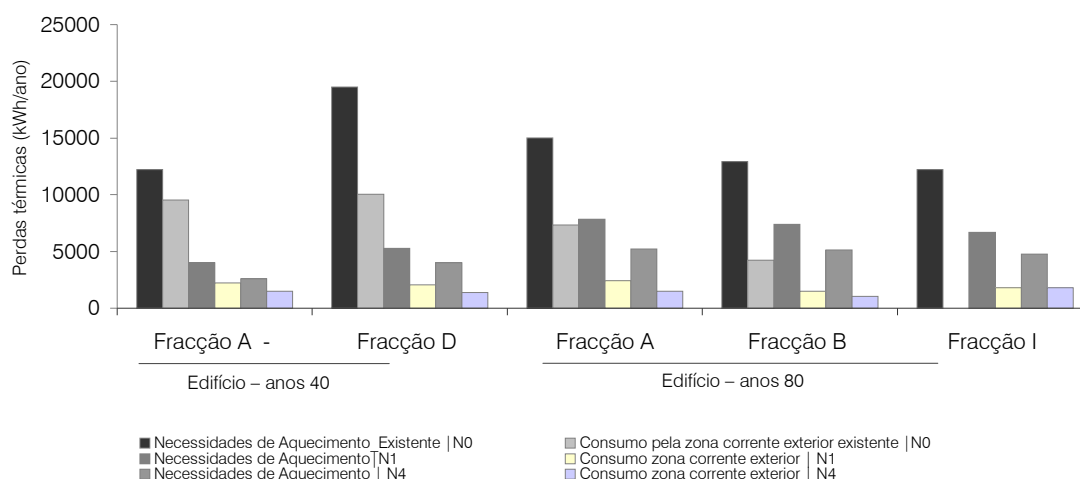
ar, de controlo mais eficientes. O potencial é consideravelmente menor para o edifício dos anos 80, estimando-se reduções de 47% a 65%.



**Figura 90** Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/ano]

Esta diferença de resultados para o mesmo nível de qualidade em distintos casos de estudo, demonstra que a poupança associada cresce em função da relação área afectada pela melhoria em relação a superfície total da envolvente. Assim, a proposta de retirar resultados apenas com intervenções pelo lado exterior ao espaço habitado, o edifício dos anos 40 pela sua maior percentagem desta área, acolhe melhores resultados.

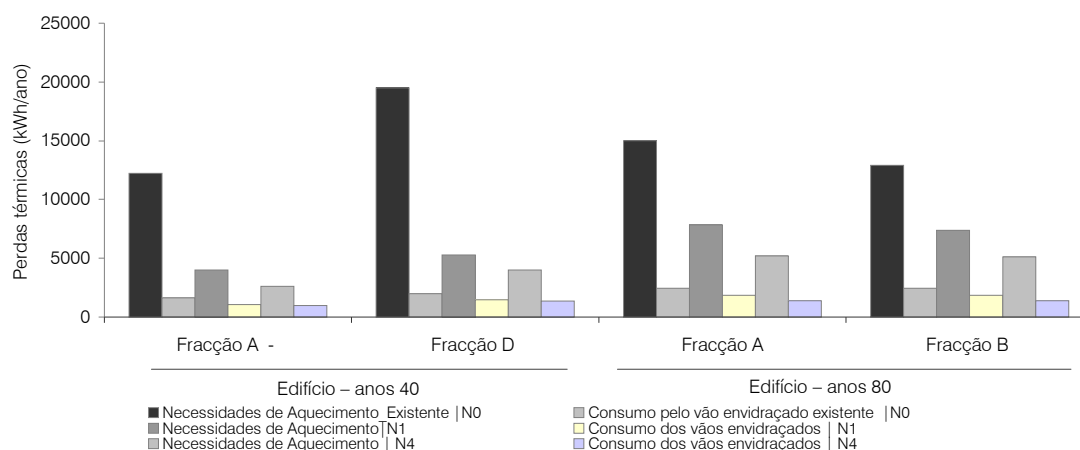
Cruzando alguns resultados pode-se avaliar alguns dados mais específicos sobre o comportamento e desempenho de cada elemento em função das necessidades de aquecimento. Assim pode-se verificar na figura 91, que o isolamento na zona corrente exterior pode comportar uma poupança energética de 83 % para o nível 1 e 88 % para o nível 4 no edifício dos anos 40, e 59 % para o nível 1 e 68 % para o nível 4 no edifício dos anos 80 relativamente às necessidades de aquecimento.



**Figura 91** Redução de consumo de energia zona corrente exterior / Necessidades de Aquecimento [kWh/ano]

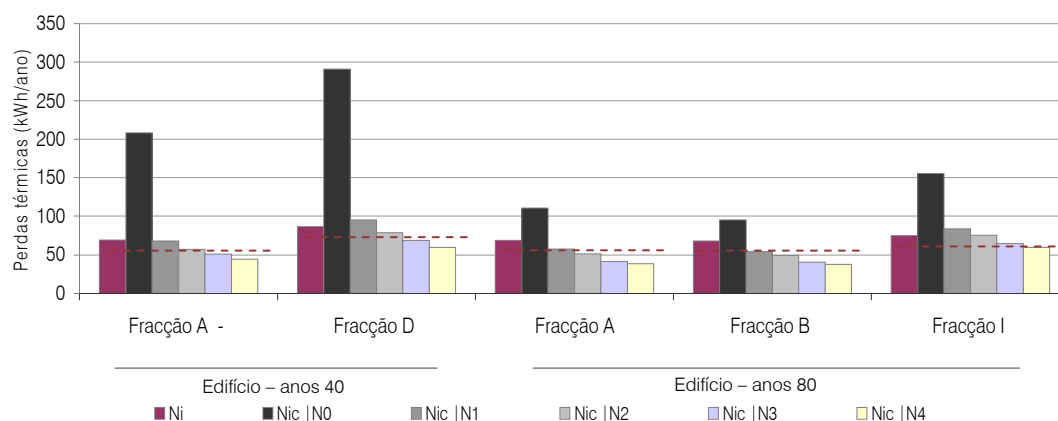
No que se refere aos envidraçados (fig. 92) o reforço térmico pode implicar uma poupança energética de (6 %) para o nível 1 e (7%) para o nível 4 no caso de estudo 1, quanto ao caso de

estudo 2 as poupanças estabelecem-se entre os 8% para o nível 1 e 10 % para o nível 4, relativamente ao consumo de energia para aquecimento. De salientar ainda, que para um maior balanço térmico torna-se fundamental alterar as configurações do vão envidraçado existente de forma a compatibilizar-se com o isolamento da fachada para evitar o desconforto interior dos espaços, associados ao efeito de parede fria e condensações interiores.



**Figura 92** Redução de consumo de energia dos vãos envidraçados / Necessidades de Aquecimento [kWh/ano]

A pesar desta abordagem se ter satisfeito os requisitos mínimos para a qualidade térmica do edifício, como se pode observar na figura 93, continua a verificar-se o incumprimento no que diz respeito às necessidades de aquecimento de algumas fracções. Torna-se então necessário estabelecer como base os valores de referência para os coeficientes de transmissão térmica, sendo totalmente cumpridos apartir do nível N3. Contudo, tratando-se de fracções com níveis de exigência mais elevados, devido ao confronto com a cobertura, seria possível modificar as variáveis indicadas, e de forma iterativa, encontrar o nível de qualidade específico para cada elemento e assim alcançar o total cumprimento do disposto no RCCTE nas fracções em questão.



**Figura 93** Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m².ano]

Com base na alteração das variáveis indicadas atrás construiu-se o processo iterativo para determinar a espessura de isolamento necessário para com níveis de qualidade mais baixos

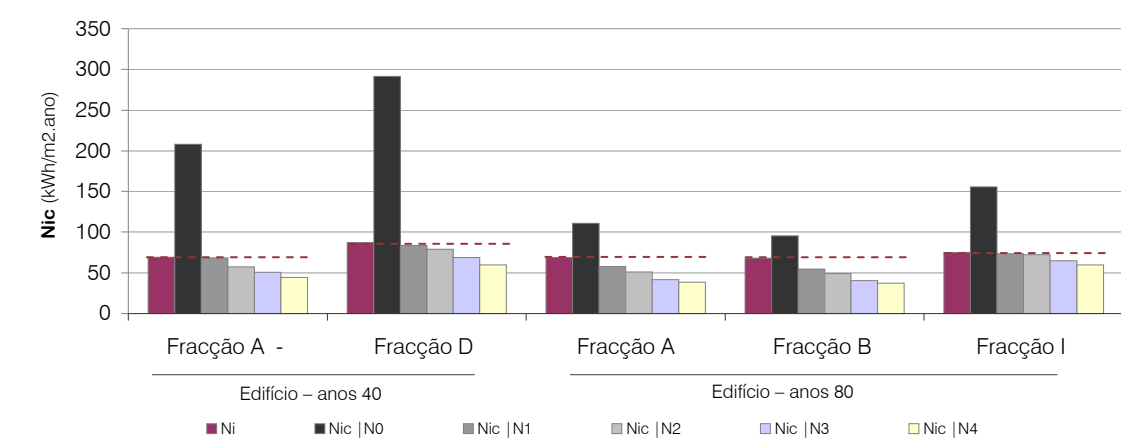


poderem cumprir os regulamento. Recorrendo aos valores de U calculados para os diversos níveis de qualidade (ver Quadro 12 e 13) foi possível determinar qual a espessura de isolamento necessária para a cobertura, pertencendo à fracção D (edifício anos 40) e fracção I (edifício anos 80), que de seguida se apresenta na tabela 48.

**Tabela 48** Cálculo do Indicador do Nic - N1 e N2 (fracção D \_ anos 40 | fracção I \_ anos 80)

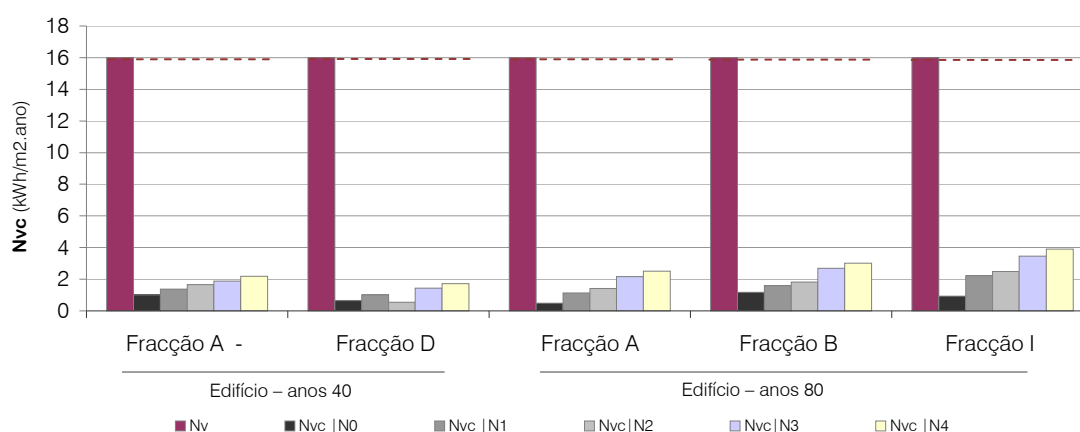
			CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]	CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]
	Nível de Qualidade	Nível de Qualidade proposto	Fracção D	Fracção I
	Zona opaca horizontal	<b>N1</b>	U = 0,40	
		<b>N1</b>		U = 0,32
		<b>N2</b>		U= 0,39
	Nec. Nominais de Aquec - <b>Nic</b>		83,67	73,42   72,33
	Nec. Nominais de Aquec Máx - <b>Ni</b>		<b>68,80</b>	<b>74,84</b>
	Situação actual		CUMPRE	CUMPRE

A figura 94 traduz o efeito que a variação admitida para os níveis de qualidade propostos, com valores indicados na tabela 47. Verifica-se que há, em regra, a necessidade de aumentar a espessura do isolamento na cobertura em relação aos restantes elementos da envolvente.



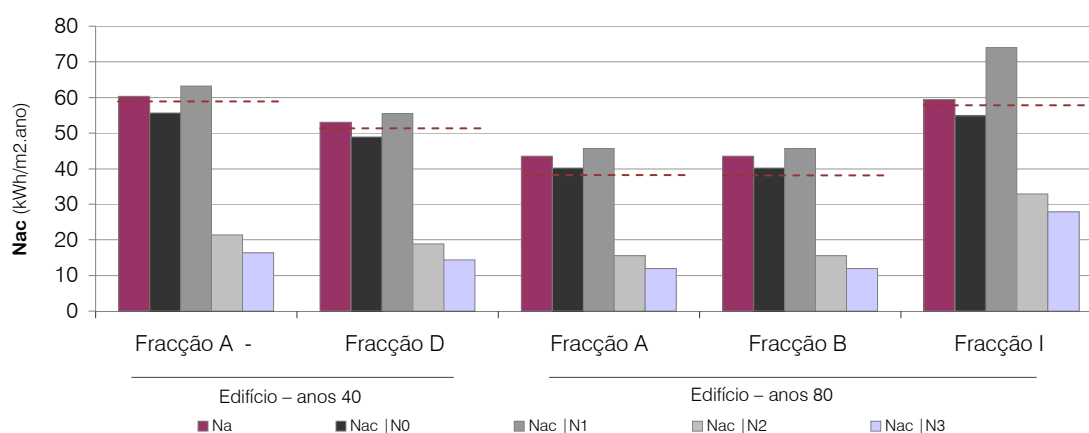
**Figura 94** Redução de Necessidades de Aquecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m².ano]

Constata-se que os benefícios da espessura do isolamento são evidentes na estação fria, e que esta implementação não impede a dissipação do calor para o exterior, mantendo a temperatura interior a níveis aceitáveis para a estação quente. Os resultados mostraram (fig. 95) que, quando o isolamento da envolvente aumenta as necessidades de energia para arrefecimento aumentam, contudo o aumento de consumo energético neste período justifica-se pelas poupanças energéticas verificadas no Inverno.



**Figura 95** Redução de Necessidades de Arrefecimento para os distintos níveis de qualidade [kWh/m².ano]

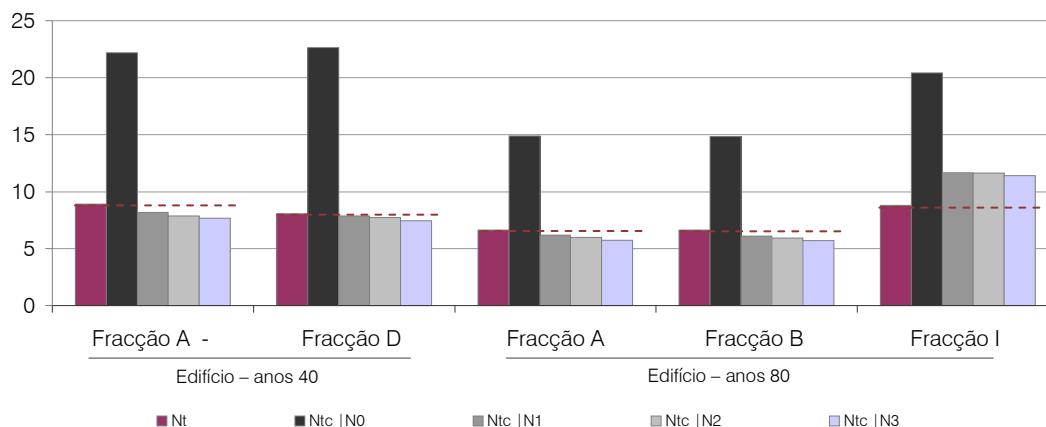
O efeito da implementação de energias renováveis representa sempre uma medida de economia de energia primária não renovável e por conseguinte uma poupança nas emissões de CO<sub>2</sub>, contudo será possível verificar na figura 96, a importância a que deve ser dada a selecção do sistema de apoio. Por exemplo a utilização de um esquentador a gás, afectado pelos valores estabelecidos pela eficiência nominal dos equipamentos presentes no RCCTE e agravado pela ausência de isolamento da rede interna de distribuição águas quentes, não cumpre com o valor máximo admissível de necessidades nominais anuais de energia útil para a produção de AQS. De salientar ainda que, a utilização de um termoacumulador eléctrico, como sistema de apoio, pelo elevado factor de conversão permite cumprir com o disposto no Regulamento, destacando-se a caldeira mural com acumulação que permite um maior desempenho para a preparação de AQS. Independentemente do sistema de apoio, a introdução do sistema solar térmico para a produção de água quente comporta uma poupança de energia de 65 % do consumo total das necessidades de preparação de água quente e 45 a 62 % sobre as necessidades existentes.



**Figura 96** Redução de Necessidades de preparação de AQS para os três níveis de qualidade [kWh/m².ano]

Os resultados ilustrados na figura 97 correspondem à quantidade de energia fornecida para que as temperaturas de conforto definidas sejam mantidas, podendo verificar que o potencial de

redução do consumo de energia é inequívoco e necessário. A implementação destas medidas equivale, a uma economia de economia de 42 a 66 % sobre o edifício existente, contudo podemos aferir que a fracção I do edifício dos anos 80, não cumpre em nenhum nível de qualidade com os valores limites das necessidades de energia primária, contudo cumpre na totalidade todos os valores limites das necessidades para aquecimento, arrefecimento e AQS. Este facto levanta a questão sobre o peso atribuído às medidas activas, pois só é possível fazer cumprir este limite na fracção I, e cumprir igualmente os restantes limites ( $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_a$ ) se se introduzir uma máquina de alto desempenho para preparação de AQS.



**Figura 97** Redução de Necessidades de Energia Primária para os três níveis de qualidade [kgep/m<sup>2</sup>.ano]

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui assim uma das vias mais promissoras para a correcção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos seus habitantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, e AQS, contribuindo também para o objectivo estratégico de redução das necessidades energéticas do nosso País e possibilitando, em muitas situações, a correcção de certas patologias ligadas à presença de humidade e à degradação do aspecto nos edifícios.

## 6.5 ANÁLISE ECONÓMICA

Neste secção pretende-se efectuar uma análise económica global enquadrando os custos ambientais. Embora os aspectos económicos ocupem um lugar central na lógica do mercado actual constituem uma e apenas uma das facetas das propostas de reabilitação e não devemos desmesurar os aspectos ambientais. Com a análise económica das soluções propostas pretende-se responder a duas perguntas fundamentais:

- 1) Será que a implementação de medidas de reforço térmico é rentável?
- 2) Qual das medidas propostas é mais rentável?

A primeira questão prende-se com a classificação de uma solução: aceitar ou não aceitar. A segunda prende-se com a ordenação: este é o melhor, depois aquele, depois o outro. Existe

ainda uma pergunta “económica” que poderá parecer mais óbvia: quando é que este tipo de intervenção atinge a rentabilidade máxima?

Por isso, importa avaliar qual o nível de qualidade mais vantajoso, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (aplicação de isolamento, substituição ou manutenção da caixilharia existente) com os custos de exploração (consumo de energia).

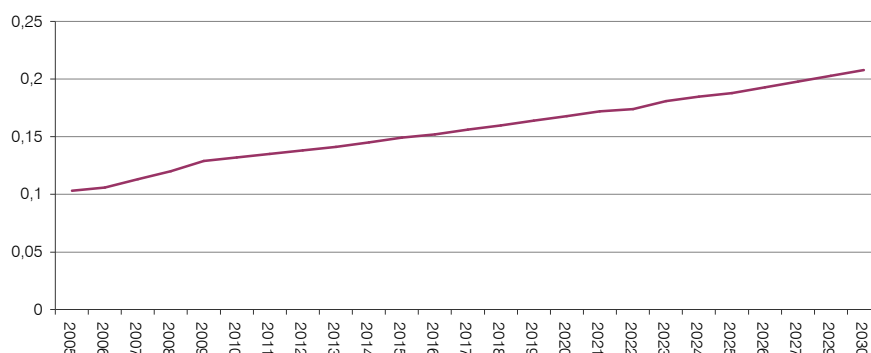
Nesta secção começa-se por apresentar alguns dados e pressupostos para a análise económica, tendo presente as propostas para a redução do consumo energético dos edifícios em estudo, desagregados pelo nível de qualidade de reforço térmico. Importa sublinhar que o estudo económico é realizado com base nas poupanças de energia para aquecimento alcançadas com as medidas implementadas, estabelecendo o limite máximo de utilização de equipamentos de climatização 24 horas pelo número de dias da estação fria de modo a assegurar sempre as condições de conforto. Depois passa-se a explicar o custo da energia ao longo do tempo, projectando-se a poupança relativa a cada solução proposta e determinar a sua rentabilidade, actualizando os valores para o momento 0. Segue-se a análise comparativa do investimento inicial face aos resultados obtidos na poupança de energia.

Finalmente far-se-á uma análise crítica de cada uma das soluções propostas, relativamente ao tempo necessário para cada solução encontrar o ponto em que o custo inicial de aplicação de isolamento térmico na envolvente do edifício é amortizado recuperando-se o investimento inicial.

#### **6.5.1 Dados e pressupostos para a análise económica**

A redução do coeficiente de transmissão térmica resultante da introdução do isolamento térmico nos elementos da envolvente dos edifícios em estudo mostrou, nos pontos anteriores, que durante a sua exploração se verifica a redução objectiva dos consumos energéticos para manter as habitações a temperaturas de conforto de referência (20°C). A aplicação de qualquer medida de reforço térmico na envolvente do edifício a reabilitar corresponde a um investimento inicial que se pretende economicamente rentável. Pretende-se analisar a viabilidade económica do investimento de requalificação energética realizada caso a caso, através de um levantamento dos consumos energéticos especificamente para a estação de aquecimento.

Os estudos exigem uma previsão da evolução do custo da energia eléctrica e o conhecimento do custo de aplicação das medidas implementadas. A evolução do preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumidores domésticos, representada na figura 98 tem por base a consulta dos preços indexados pela empresa fornecedora. Os restantes valores, posteriores a 2009, foram estimados, tendo-se admitido uma taxa de crescimento anual de 2,5%.



**Figura 98** Evolução do custo de energia eléctrica para um consumidor doméstico

No âmbito desta análise, os custos do investimento inicial, resultantes da aplicação de isolamento térmico nas paredes num edifício de habitação, pelo exterior, para as distintas situações (alvenaria de pedra e alvenaria de tijolo), em poliestireno expandido moldado (EPS), em placas do tipo ETICS e com revestimento delgado, e as soluções de reforço térmico dos vãos envidraçados, foram equacionados através de uma prospecção do mercado, actualizados em Outubro de 2009.

Designação	Custo* total €/m²	
Sistema tipo ETICS		
	40 mm	34,80
	60 mm	37,20
	80 mm	39,60
	100 mm	42,00
(EPS) + placas de gesso cartonado		
	40 mm	6,95
	50 mm	8,10
	60 mm	10,80
	80 mm	12,35
Envidraçados**		
	Planitherm 4mm	72,00
	Duplo isolante: planitherm 6mm+16 argón+ 8mm Planilux	91,30
	Caixilharia com corte térmico: planitherm 6+16 ar + 8mm Planilux	300,00
	Caixilharia com corte térmico: planitherm 6+16 argón + 8mm Planilux	306,00

\*Incluindo andaimes para aplicação

\*\* incluindo a aplicação do vidro e substituição da caixilharia

**Quadro 14** Custo de aplicação das diversas soluções

Nas tabelas no anexo D, são apresentados o custo total da aplicação da medida e a economia de energia em relação à situação inicial (sem isolamento térmico), para os diversos níveis de qualidade. Nas tabelas seguintes apresentam-se os consumos totais de energia e custos para cada solução proposta de reabilitação energética.

**Tabela 49** Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a envolvente opaca.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]	
		Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m²	Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m²
Envolvente Opaca	N0	45 576,52	0,00	35 641,92	0,00
	N1	10 096,23	9 231,00	13 099,34	16 784,59
	N2	7 951,50	9 843,31	10 590,06	18 047,56
	N3	6 671,52	10 559,47	9 083,49	19 666,93
	N4	5 778,44	11 507,77	8 071,89	20 837,51

**Tabela 50** Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a área envidraçada.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]	
		Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>
Envidraçados	N0 <sub>e</sub>	6 849,03	0,00	24 999,30	0,00
	N1 <sub>e</sub>	5 036,11	3 684,96	18 901,91	11 361,60
	N2 <sub>e</sub>	4 028,88	4 672,73	16 462,95	14 407,14
	N3 <sub>e</sub>	5 438,76	15 354,00	16 462,95	47 340,00
	N4 <sub>e</sub>	4 633,06	15 661,08	14 024,00	48 268,80

**Tabela 51** Quantificação do consumo de energia e custos iniciais para a envolvente opaca e envidraçados.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]		CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]	
		Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Consumo de Energia kWh/ano	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>
Envolvente Opaca N1 + Envidraçados	N0	52 425,50	0,00	60 641,22	0,00
	N1+N1 <sub>e</sub>	15 132,24	12 915,96	32 001,25	28 146,19
	N1+N2 <sub>e</sub>	14 125,13	13 903,73	29 562,29	31 191,73
	N1+N3 <sub>e</sub>	15 534,96	24 585,00	29 562,29	64 124,59
	N1+N4 <sub>e</sub>	14 729,22	24 892,08	27 123,34	65 071,39
Envolvente Opaca N2 + Envidraçados	N2+N1 <sub>e</sub>	12 987,61	13 528,27	29 491,97	29 409,16
	N2+N2 <sub>e</sub>	11 982,32	14 516,04	27 053,01	32 454,70
	N2+N3 <sub>e</sub>	13 390,23	25 197,31	27 053,01	65 387,56
	N2+N4 <sub>e</sub>	12 584,49	25 504,39	24 614,06	66 334,36
Envolvente Opaca N3 + Envidraçados	N3+N1 <sub>e</sub>	11 707,63	14 244,43	27 795,40	31 028,53
	N3+N2 <sub>e</sub>	10 700,40	15 232,20	25 546,44	34 074,07
	N3+N3 <sub>e</sub>	12 110,28	25 913,47	25 546,44	67 006,93
	N3+N4 <sub>e</sub>	11 304,49	26 220,55	23 107,49	67 953,73
Envolvente Opaca N4 + Envidraçados	N4+N1 <sub>e</sub>	10 814,55	15 192,73	26 973,80	32 199,11
	N4+N2 <sub>e</sub>	9807,32	16 180,50	24 534,84	35 244,65
	N4+N3 <sub>e</sub>	11 217,20	26 861,77	24 534,84	68 177,51
	N4+N4 <sub>e</sub>	10 411,50	27 168,85	22 095,89	69 124,31

As soluções têm um horizonte temporal de 8 anos. Esta delimitação temporal foi determinada considerando o período de retorno simples, implementado pelo RSECE, no Plano de Racionalização Energética (PRE) para edifícios de serviços, entendendo que qualquer medida de reabilitação energética com um período de retorno inferior a 8 anos deverá ter execução obrigatória. Apesar de ser uma regra para os edifícios de serviços não aplicável aos edifícios residenciais adopta-se este período de retorno do investimento.

### 6.5.2 Custo da energia ao longo do tempo para aquecimento

Este item apresenta o custo energético ao longo do tempo, baseado no consumo de cada situação calculado (ver Anexo IV), considerando a taxa de crescimento anual do preço da energia, conforme se apresenta na tabela 52. Importa referir a ordem de grandeza do custo de consumo de energia do ano 0 para o ano 8.

**Tabela 52** Projecção do custo de energia eléctrica tarifa simples - horizonte temporal = 8 anos

CUSTO DA ENERGIA AO LONGO DO TEMPO kWh/€						
Tempo	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
	ano 0	ano 8	Total	ano 0	ano 8	Total
N0	6762,82	8239,83	65918,71	7822,71	9531,21	76249,70
N1+N1 <sub>e</sub>	1952,07	2436,41	19027,26	4128,16	5029,76	40238,09
N1+N2 <sub>e</sub>	1822,13	2220,07	17760,70	3813,53	4646,41	37171,32
N1+N3 <sub>e</sub>	2004,01	2441,69	19533,53	3813,53	4646,41	37171,32
N1+N4 <sub>e</sub>	1900,07	2315,05	18520,40	3498,91	4263,08	34104,65
N2+N1 <sub>e</sub>	1675,40	2041,31	16330,49	3804,46	4635,36	37082,92
N2+N2 <sub>e</sub>	1545,46	1882,99	15063,94	3489,83	4252,01	34016,15
N2+N3 <sub>e</sub>	1727,34	2104,59	16836,76	3489,83	4252,01	34016,15
N2+N4 <sub>e</sub>	1623,40	1977,95	15823,64	3175,21	3175,21	30949,48
N3+N1 <sub>e</sub>	1510,28	1840,12	14721,03	3610,11	4398,56	35188,54
N3+N2 <sub>e</sub>	1380,28	1557,51	13453,89	3295,49	4015,23	32121,87
N3+N3 <sub>e</sub>	1562,22	1903,41	15227,30	3295,49	4015,23	32121,87
N3+N4 <sub>e</sub>	1458,29	1762,81	14214,27	2980,86	3631,88	29055,10
N4+N1 <sub>e</sub>	1395,07	1699,75	13598,05	3479,62	4239,57	33916,63
N4+N2 <sub>e</sub>	1265,14	1541,45	12331,60	3164,99	3856,23	30849,86
N4+N3 <sub>e</sub>	1447,01	1763,04	14104,32	3164,99	3856,23	30849,86
N4+N4 <sub>e</sub>	1343,08	1636,41	13091,30	2850,36	3472,88	27783,09

### 6.5.3 Análise Custo/Benefício

O coeficiente de actualização do custo de energia, que resulta da soma do consumo total durante um período de 8 anos, apresenta-se na Tabela 53.

**Tabela 53** Coeficiente de actualização do total do custo total de energia – horizonte temporal = 8 anos.

COEFICIENTE DE ACTUALIZAÇÃO DO CUSTO DE ENERGIA (kWh/€)						
I=4%	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
	Total   ano 0	Total   ano 8	Poupança	Total   ano 0	Total   ano 8	Poupança
N0	48166,15	65918,71	-	55714,90	76249,70	-
N1+N1 <sub>e</sub>	13903,03	19027,26	34263,12	29401,57	40238,09	26313,33
N1+N2 <sub>e</sub>	12977,56	17760,70	35188,59	27160,71	37171,32	28554,19
N1+N3 <sub>e</sub>	14272,95	19533,53	33893,20	27160,71	37171,32	28554,19
N1+N4 <sub>e</sub>	13532,67	18520,40	34633,48	24919,93	34104,65	30794,97
N2+N1 <sub>e</sub>	11932,52	16330,49	36233,63	27096,12	37082,92	28618,78
N2+N2 <sub>e</sub>	11007,07	15063,94	37159,07	24855,26	34016,15	30859,64
N2+N3 <sub>e</sub>	12302,45	16836,76	35863,70	24855,26	34016,15	30854,64
N2+N4 <sub>e</sub>	11562,17	15823,64	36603,98	22614,48	30949,48	33100,42
N3+N1 <sub>e</sub>	10756,51	14721,03	37409,64	25711,92	35188,54	30002,98
N3+N2 <sub>e</sub>	9830,62	13453,89	38335,53	23471,13	32121,87	32243,77
N3+N3 <sub>e</sub>	11126,43	15227,30	37039,72	23471,13	32121,87	32243,77
N3+N4 <sub>e</sub>	10386,22	14214,27	37779,93	21230,27	29055,10	34484,63
N4+N1 <sub>e</sub>	9935,96	13598,05	38230,19	24782,54	33916,63	30932,36
N4+N2 <sub>e</sub>	9010,57	12331,60	39155,58	22541,68	30849,86	33173,22
N4+N3 <sub>e</sub>	10305,88	14104,32	37860,27	22541,68	30849,86	33172,22
N4+N4 <sub>e</sub>	9565,68	13091,30	38600,46	20300,83	27783,09	35414,07

A partir dos resultados obtidos do investimento inicial expostos nas tabelas 50 e os benefícios obtidos pela poupança energética ao longo de 8 anos, com valores actualizados para o momento 0 (tabela 53), calcularam-se os vários rácios para a análise de benefício/custo, aplicando-se a

metodologia descrita no ponto 5.3.1 do presente trabalho. Seguidamente são descritos esses rácios na tabela 54.

**Tabela 54** Rácio Benefício/Custo das distintas soluções apresentadas.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial ( $\sum C_i$ ) €/m <sup>2</sup>	Rácio Benefício/custo (€)	Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial ( $\sum C_i$ ) €/m <sup>2</sup>	Rácio Benefício/custo (€)
Rácio Benefício/Custo	N1+N1 <sub>e</sub>	34263,12	12 915,96	2,65	26313,33	28 146,19	0,93
	N1+N2 <sub>e</sub>	35188,59	13 903,73	2,53	28554,19	31 191,73	0,91
	N1+N3 <sub>e</sub>	33893,20	24 585,00	1,37	28554,19	64 124,59	0,44
	N1+N4 <sub>e</sub>	34633,48	24 892,08	1,39	30794,97	65 071,39	0,47
	N2+N1 <sub>e</sub>	36233,63	13 528,27	2,67	28618,78	29 409,16	0,97
	N2+N2 <sub>e</sub>	37159,07	14 516,04	2,55	30859,64	32 454,70	0,95
	N2+N3 <sub>e</sub>	35863,70	25 197,31	1,42	30854,64	65 387,56	0,47
	N2+N4 <sub>e</sub>	36603,98	25 504,39	1,43	33100,42	66 334,36	0,49
	N3+N1 <sub>e</sub>	37409,64	14 244,43	2,62	30002,98	31 028,53	0,96
	N3+N2 <sub>e</sub>	38335,53	15 232,20	2,51	32243,77	34074,07	0,94
	N3+N3 <sub>e</sub>	37039,72	25 913,47	1,42	32243,77	67 006,93	0,48
	N3+N4 <sub>e</sub>	37779,93	26 220,55	1,44	34484,63	67 953,73	0,50
	N4+N1 <sub>e</sub>	38230,19	15 192,73	2,51	30932,36	32 199,11	0,96
	N4+N2 <sub>e</sub>	39155,58	16 180,50	2,41	33173,22	35 244,65	0,94
	N4+N3 <sub>e</sub>	37860,27	26 861,77	1,40	33172,22	68 177,51	0,48
	N4+N4 <sub>e</sub>	38600,46	27 168,85	1,05	35414,07	69 124,31	0,51

#### 6.5.4 Período de recuperação do investimento

Para o cálculo do período de recuperação do investimento assume-se o modelo descrito no capítulo anterior (ver 5.3.1). Este modelo, permite determinar o ponto em que o custo das medidas de reforço térmico da envolvente iguala o custo de toda a energia necessária para aquecimento, ou seja, define-se o momento em que se recupera integralmente o investimento realizado.

Para facilitar a análise do período de recuperação do investimento, foram calculados em separado a envolvente opaca (tabela 55) e os vãos envidraçados (tabela 56). Importa referir a ordem de grandeza do período de retorno dos vãos envidraçados.

**Tabela 55** Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico na envolvente opaca.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)	Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)
Envolvente Opaca	N1	4576,96	9231,00	1,97	2907,99	16784,59	5,50
	N2	4853,63	9843,31	1,98	3231,69	18047,56	5,30
	N3	5018,75	10559,47	2,06	3426,04	19666,93	5,50
	N4	5133,96	11507,77	2,18	3556,53	20837,51	5,63

**Tabela 56** Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico dos envidraçados.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)	Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)
Envidraçados	N1 <sub>e</sub>	233,87	3684,96	14,49	786,56	11361,60	13,37
	N2 <sub>e</sub>	363,80	4672,73	11,97	1101,18	14407,14	12,17
	N3 <sub>e</sub>	181,92	15354,00	60,73	1101,18	47340,00	35,45
	N4 <sub>e</sub>	285,86	15661,08	43,33	1415,81	48286,80	29,04



Foram calculadas as combinações dos níveis de qualidade da envolvente opaca com os envidraçados. Os valores dessas combinações de soluções são apresentados na Tabela 56 e 57.

**Tabela 56** Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico da envolvente opaca e envidraçados.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)	Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)
Opaca + Envidraçados	N1+N1 <sub>e</sub>	4810,83	12915,96	4,63	3694,55	28146,19	7,26
	N1+N2 <sub>e</sub>	4940,76	13903,73	2,74	4009,17	31191,73	7,41
	N1+N3 <sub>e</sub>	4758,88	24585,00	4,98	4009,17	64124,59	14,69
	N1+N4 <sub>e</sub>	4862,82	24892,08	4,93	4323,80	65071,39	13,88
Opaca + Envidraçados	N2+N1 <sub>e</sub>	5087,50	13528,27	2,59	4018,25	29409,16	6,98
	N2+N2 <sub>e</sub>	5217,17	14516,04	2,72	4332,87	32454,70	7,15
	N2+N3 <sub>e</sub>	5035,55	25197,31	4,83	4332,87	65387,56	13,92
	N2+N4 <sub>e</sub>	5139,49	25504,39	4,79	4707,50	66334,36	13,05

**Tabela 57** Período de retorno do investimento inicial do reforço térmico da envolvente opaca e envidraçados.

	Nível de qualidade	CASO DE ESTUDO 1 [anos 40]			CASO DE ESTUDO 2 [anos 80]		
		Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)	Poupança Energética kWh. €/ano 0	Custo de investimento inicial (Ci) €/m <sup>2</sup>	Recuperação do investimento (anos)
Opaca + Envidraçados	N3+N1 <sub>e</sub>	5252,60	14244,43	2,64	4212,60	31028,53	7,03
	N3+N2 <sub>e</sub>	5382,55	15232,20	2,76	4527,22	34074,07	7,18
	N3+N3 <sub>e</sub>	5200,67	25913,47	4,81	4527,22	67006,93	13,67
	N3+N4 <sub>e</sub>	5304,61	26220,55	4,77	4841,85	67953,73	13,00
Opaca + Envidraçados	N4+N1 <sub>e</sub>	5367,81	15192,73	2,76	4343,09	32199,11	7,08
	N4+N2 <sub>e</sub>	5497,76	16180,50	2,86	4657,71	35244,65	7,22
	N4+N3 <sub>e</sub>	5315,88	26861,77	4,87	4657,71	68177,51	13,53
	N4+N4 <sub>e</sub>	5419,82	27168,85	4,84	4972,34	69124,31	12,89

### 6.5.5 Discussão dos resultados da análise económica

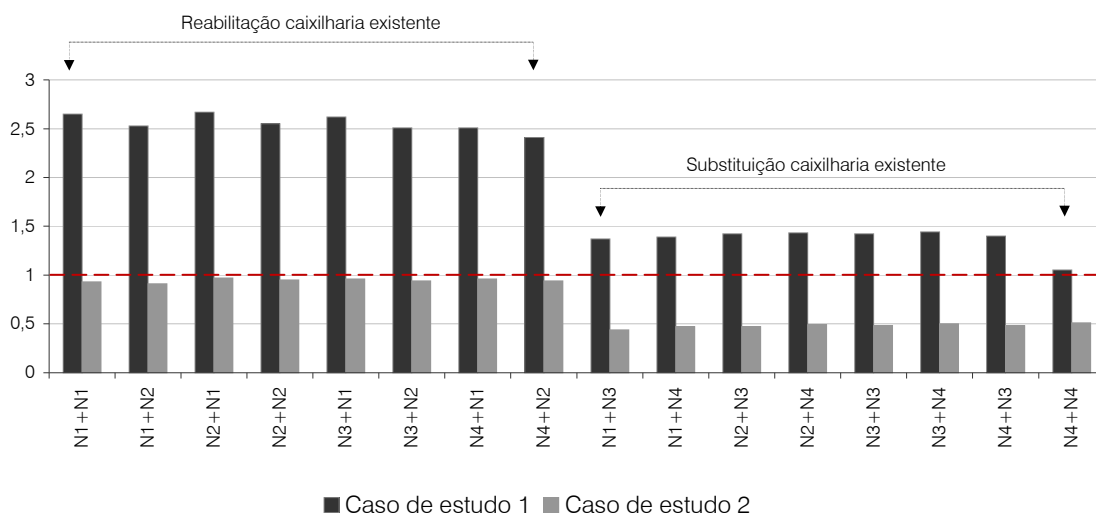
Os benefícios e custos são comparados em termos económicos para determinar se a implementação das medidas propostas se traduz em resultados positivos ou não. O resultado deve ser superior 1, nos casos onde os benefícios são superiores aos custos e, inferiores a 1 nos casos contrários.

Resumindo:

- a)** Se o Rácio Benefício/Custo for maior que 1: Os benefícios são superiores aos custos e pode existir um OK para a proposta;
- b)** Se o Rácio Benefício/Custo for menor que 1: Os custos são superiores aos benefícios e pode não existir um OK para a realização da proposta;
- c)** Se o Rácio Benefício/Custo for igual a 1: É indiferente realizar ou não o projecto deste.

Com base nos resultados obtidos (tabela 53) e na informação dada pelo indicador rácio benefício/custo, é de salientar, numa primeira análise, a diferença de valores para os mesmos

níveis de qualidade para o Caso de estudo 1- Edifício dos anos 40 e para o Caso de estudo 2- Edifício dos anos 80. É interessante notar que, para o Caso de estudo 2, os benefícios alcançados podem não cobrir os custos, conduzindo a uma possível recusa pelo promotor das medidas implementadas. Contudo, a aproximação dos valores a 1 em algumas das soluções estudadas, como por exemplo o valor 0.97, solução (N1+N2<sub>e</sub>), bem como, 0.95 solução (N2e+N2<sub>e</sub>), aquando da reabilitação da caixilharia, projectam a viabilidade das propostas se se prolongar o horizonte temporal a 10-15 anos. Por outro lado, todas as soluções apresentadas para o Caso de estudo 1 obtiveram resultados bastante satisfatórios, superiores a 1, destacando-se apenas os resultados menos favoráveis nas soluções onde se propõe a substituição das caixilharias. Estes resultados apontam para o grande potencial de poupança energética relativamente aos edifícios mais antigos. Pode-se atribuir como um dos factores que mais contribui para estes resultados, o aumento do investimento inicial, pelo aumento de área de intervenção para o Caso de estudo 2, nomeadamente para reduzir as perdas térmicas/energéticas pela envolvente interior em contacto com locais não aquecidos.

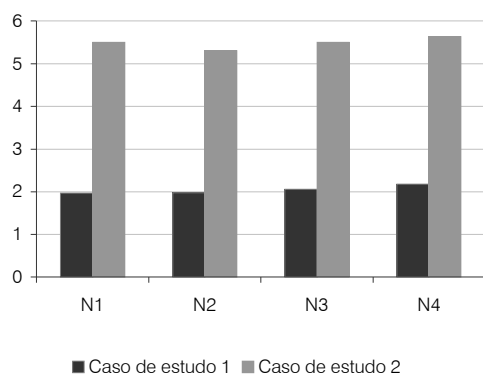


**Figura 99** Rácio Benefício/Custo das distintas soluções apresentadas.

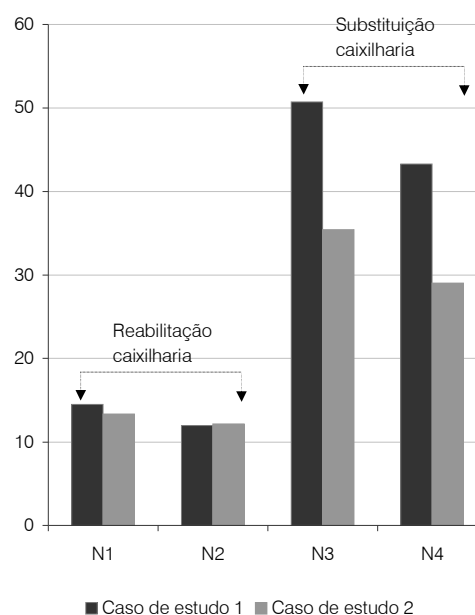
Relativamente às medidas de reforço térmico dos envidraçados através da sua substituição observa-se uma redução considerável no rácio benefício /custo. Apesar de no Caso de estudo 1 os valores do indicador se encontrarem, acima do valor limite de aceitação das propostas, é possível verificar na fig. 99, a forte diminuição dos benefícios face aos custos, por outro lado no Caso de estudo 2 a sua substituição seria economicamente pouco rentável, mesmo considerando um horizonte temporal mais longínquo. No caso de estudo 1, os resultados demonstram que a reabilitação dos envidraçados existentes podem duplicar os benefícios face o investimento inicial.

No que se refere ao período de retorno do investimento, deve-se esclarecer que não existe um critério de aceitação ou rejeição das propostas implementadas com base nestes valores. Tal depende do promotor, da sua disponibilidade ou da necessidade de capital. A análise do período

de retorno do investimento em separado de cada elemento – envolvente opaca e envidraçados, permite avaliar em termos relativos o peso económico de ambos sobre o conjunto total dos mesmos. Pode-se constatar através da figura 100 e 101 que o peso económico dos vãos envidraçados é bastante superior ao da envolvente opaca. No Caso de estudo 1 recupera o investimento da envolvente opaca entre 1 a 2 anos, não existindo grandes oscilações determinantes para a escolha do nível de qualidade, sendo qualquer uma das opções um investimento altamente rentável. Não obstante, o Caso estudo 2 apresenta tempos de amortização do investimento bastante mais moroso, entre 5 e 6 anos, apresentando alguma linearidade de tempos entre os vários níveis de qualidade.



**Figura 100** Período de retorno do investimento para a envolvente opaca sobre as distintas soluções apresentadas.



**Figura 101** Período de retorno do investimento para os vãos envidraçados sobre as distintas soluções apresentadas.

Na figura 101 mostra-se o tempo necessário para que o investimento do reforço térmico dos vãos envidraçados gere um resultado positivo, podendo alcançar nas soluções de substituição, mais de 50 anos. Isoladamente, pode-se afirmar que uma intervenção de reforço térmico apenas nos vãos envidraçados, economicamente não será rentável, pois em larga medida ultrapassariam o tempo de vida útil das mesmas. Através destes resultados, pode-se verificar que a substituição de caixilharias, principalmente para o Caso de estudo 1 só, e apenas, se justificaria se as existentes estivessem em péssimo estado de conservação. Das figuras acima expostas, pode depreender-se toda a atenção que deve ser dada aos vãos envidraçados aquando da reabilitação térmica/energética dos edifícios. Neles incidem o maior investimento, pela sua reduzida área de actuação oferecem poucos benefícios, tanto económicos como redução no consumo de energia. Contudo, a sua reabilitação não pode ser colocada em causa. A melhoria dos vãos envidraçados não deve ser entendida apenas como um custo económico. Deve-se contabilizar os benefícios indirectos por estes promovidos, como por exemplo, o aumento de conforto interior nas habitações, a poupança energética, as vantagens inerentes à melhoria no

meio ambiente e, por último, mas não menos importante, a revalorização real das habitações deve ser tido em conta.

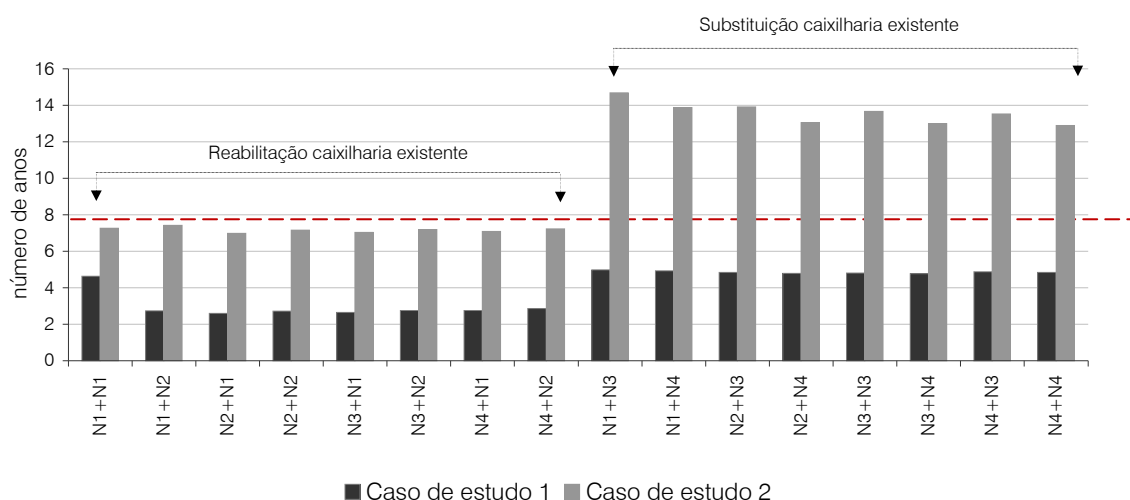
Tendo em consideração o anteriormente descrito, pode-se afirmar que um dos factores de decisão pode estar intimamente ligado com o tipo de reforço térmico para os vãos envidraçados. Neste sentido, foram analisadas as várias possibilidades de cruzamento de soluções entre a envolvente opaca e os vãos envidraçados, podendo-se chegar a algumas considerações para ambos edifícios em estudo:

### Caso de Estudo 1 – edifício dos anos 40

- Para a solução de reforço térmico dos vãos envidraçados com recurso ao aumento do número de vidros ( $N1_e$ ), o tempo de retorno do investimento varia entre 2 a 5 anos, sendo que o menor valor se encontra associado à solução  $N1+N2_e$ . Contudo é possível verificar que a diferença entre soluções mostra períodos de retorno de investimento bastante próximos, com um tempo máximo de 2 anos.

- Para a solução N2 dos vãos envidraçados, em que se opta pela substituição do vidro existente por um vidro duplo isolante, o tempo de retorno varia de 2 a 3 anos, sendo novamente a solução ( $N2+N2_e$ ) a situação mais favorável. Nesta opção, a diferença de tempo de retorno de investimento entre as várias soluções é apenas de meses.

- A substituição da caixilharia existente por uma caixilharia de alumínio com corte térmico, aumenta aproximadamente em 4 anos o tempo de retorno de investimento, relativamente às anteriores propostas. A combinação com os diferentes níveis de qualidade térmica da envolvente opaca, não mostra grandes oscilações (a diferença no tempo de amortização é de meses). Deve-se salientar que o maior tempo de recuperação encontra-se associado ao nível ( $N1+N3_e$ ).



**Figura 102** Período de retorno do investimento inicial das distintas soluções apresentadas.

Na figura 102, mostram-se as relações entre os diferentes níveis de qualidade térmica/energética, das combinações propostas entre a envolvente opaca e os envidraçados. De

uma forma geral, estes gráficos confirmam as observações anteriores sobre a tendência de dois tipos de intervenção térmica energética dos vãos envidraçados: a reabilitação do existente, apenas reforçando os vidros com períodos de tempo de retorno do investimento razoáveis e a substituição dos caixilhos de períodos de tempo de recuperação bastante mais prolongados. É interessante notar que, para o horizonte temporal previamente determinado, (oito anos) entendido como um período de tempo razoável para a amortização do investimento, apenas no Caso de estudo 1 se consegue viabilizar todas as propostas.

### **Caso de Estudo 2 – edifício dos anos 80**

Para o Caso de estudo 2, a solução de reforço térmico dos vãos envidraçados com recurso ao aumento do número de vidros solução (+N1), apresenta um tempo de retorno do investimento maior do que o do Caso de estudo 1, varia entre 6 a 8 anos. Quando se opta pela substituição do vidro existente por um vidro duplo isolante, o tempo de retorno varia entre 7 a 8 anos. Nesta opção, a diferença de tempo de retorno de investimento entre as várias soluções é apenas de meses.

Quando se substitui o caixilho, o tempo de retorno aumenta sensivelmente para o dobro relativamente às medidas que preservam a caixilharia existente, e pode variar entre 13 a 14 anos. Com esta intervenção verifica-se que nas várias soluções, o período de amortização do investimento é de 1 a 2 anos. Em última análise, quando se opta por uma caixilharia de elevado desempenho, os períodos de retorno do investimento variam entre 12 e 13 anos. Estes resultados demonstram que, caso seja necessário substituir a caixilharia existente, opção por uma caixilharia de elevado desempenho não traduz maiores custos ao investimento. Neste caso precisamente, a redução do consumo de energia permite obter ganhos equivalentes ao aumento do custo inicial, produzindo maiores ganhos a médio prazo durante a exploração do edifício, transformando-se numa proposta rentável.

Considerando os resultados para ambos os edifícios seria possível concluir que a reabilitação energética do Caso de estudo 1, comporta períodos de retorno de investimento menores do que no Caso de estudo 2. Em algumas das opções chega a atingir 9 anos de diferença de períodos de amortização, reforçando a ideia de que cada edifício tem as suas próprias especificidades e devem ser analisadas caso a caso, através de um levantamento rigoroso dos consumos energéticos. Pode-se igualmente concluir que o edifício dos anos 40 apresenta períodos de retorno de investimento razoavelmente favoráveis, para todas as soluções propostas, inferiores a 8 anos. Contudo, para o edifício dos anos 80, as soluções de substituição de caixilharia ultrapassam substancialmente este período, podendo ser um factor determinante na escolha da melhor solução.

Por último, verifica-se que as medidas de reforço térmico implementadas podem dar lugar a uma diminuição significativa dos gastos em energia, para além dos contabilizados 8 anos de

utilização, tendo em conta que, um imóvel tem uma vida útil de várias dezenas de anos. Neste sentido, pode ser compensador o investimento inicial que é feito em materiais e mão-de-obra no isolamento térmico da envolvente, e este investimento é tanto mais justificável quando se sabe que a tendência é para o aumento do custo da energia.

#### **6.5.6 Limitações da análise económica**

Para a discussão dos resultados obtidos da análise económica feita através de dois indicadores financeiros – rácio Benefício/Custo e Período de retorno do investimento, devemos *a priori* alertar que não existe nem poderá existir um único indicador capaz de sintetizar toda a informação da viabilidade económica para qualquer solução de reabilitação energética. São muitos os factores relevantes para avaliar determinados investimentos:

**a.1** - a análise admite um consumo energético para aquecimento de forma contínua para garantir uma temperatura de referência (20°C.) durante toda a estação de aquecimento, no entanto o aquecimento não é geralmente contínuo 24horas/dia.

**a.2** - para além dos custos associados à requalificação energética de um edifício existente, que normalmente implica trabalhos mais complexos e dispendiosos, o estudo em análise chama a atenção para os custos “indirectos” não contabilizados associados a todo processo. São exemplos disso, os custos de projectos e processos administrativos, a necessidade de se obter concordância dos condóminos, o dispêndio de tempo quer na selecção da empresa que fará as obras, quer em acordar um valor para as mesmas, quer mesmo no acompanhamento das destas, e a limitação de técnicas disponíveis.

**a.3** – o tipo de energia a utilizar e os respectivos custos de consumo, associados ao factor de eficiência dos equipamentos.

**a.4** – a análise económica depende do horizonte temporal aplicado, por exemplo será distinto avaliar um projecto com período de retorno de investimento igual a 8 anos ou um projecto onde o horizonte temporal resida entre os 20-30 anos, ao considerar o tempo de vida útil das medidas propostas.





Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação  
Fátima Maria Gomes Jardim



## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

#### **7.1 Conclusões**

O presente trabalho consistiu no estudo da reabilitação energética de edifícios existentes pela redução do consumo energético, quando implementadas medidas de reforço térmico na envolvente. A exigência de envolventes exteriores cada vez mais bem isoladas é uma tendência nas regulamentações europeias, e consequência da transposição para os regulamentos nacionais das exigências da recente Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos edifícios.

A pesquisa partiu da hipótese de que a eficiência energética de um edifício pode ser conseguida através de várias medidas correctivas destinadas a superar as deficiências apresentadas, em termos de desempenho energético. Como o parque edificado é muito heterogéneo, essas deficiências variam muito de caso para caso. O objectivo principal do trabalho foi caracterizar esse desempenho energético e diagnosticar correctamente as deficiências apresentadas, propondo soluções de reabilitação térmica e energética, e percebendo se as mesmas reduzem o consumo de energia ao ponto de se tornarem económica e ambientalmente sustentáveis.

A revisão bibliográfica permitiu o aprofundamento sobre as questões que contribuem para o comportamento térmico do parque habitacional existente. Foram abordados diversos factores, desde aqueles directamente relacionados com a eficiência energética dos edifícios, destacando-se os materiais e os sistemas construtivos recorrentes na definição da envolvente que exercem influência directa nas condições de conforto interior, até aos indicadores de grande interferência relacionados com Desenvolvimento Sustentável, a problemática do aquecimento global e as alterações climáticas, determinados pelos padrões de consumo de energia e recursos naturais do meio edificado.

A caracterização do parque habitacional português permitiu demonstrar a ausência de um sistema de definição de qualidade na construção existente para responder as novas exigências de sustentabilidade. Neste campo de actuação, a reabilitação térmica e energética de edifícios constitui uma das vias mais promissoras para a correcção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto.

Na última década, acentuou-se significativamente a tendência de crescimento da procura de sistemas de climatização do nosso país, nomeadamente no sector residencial. Este cenário surge em resposta à melhoria do nível de vida das populações, e de um maior grau de exigência de conforto, mas também como consequência da elevada taxa de crescimento do parque construído. Desta evolução, resultou para os edifícios a mais elevada taxa de crescimento de consumos de energia de entre todos os sectores da economia nacional. O principal argumento

para a promoção da reabilitação do parque habitacional remete para o potencial de poupança energética e a redução das emissões de gases de efeito estufa, considerando que é na fase de utilização que se coloca o maior problema ambiental dos edifícios.

No caso da reabilitação do parque edificado existente, verifica-se um conjunto de barreiras e dificuldades, que impedem a utilização eficiente dos recursos energéticos nos edifícios, podendo ser distinguidas em três níveis: o nível social e cultural, classificado como barreira comportamental premente na mentalidade de quem projecta e constrói os edifícios, e de compradores ainda pouco sensibilizados para estas questões; o nível económico, uma vez que predomina a ideia de que os edifícios eficientes são edifícios de luxo, de avultados custos de investimento, associado à problemática do regime de propriedade, e por último o nível físico construtivo decorrente do processo de adaptabilidade dimensional ao existente.

A metodologia desenvolvida para atender aos trabalhos de caracterização, avaliação e propostas de intervenção energética em dois casos de estudo - edifícios de habitação plurifamiliar - baseou-se na simulação do desempenho térmico, pela quantificação das perdas energéticas globais e a avaliação do seu impacto. Adoptou-se a metodologia simplificada usada no actual RCCTE. Foram consideradas variações de reforço e de espessura de isolamento para efectuar as simulações às fracções consideradas mais exigentes. Todas as simulações foram construídas atendendo aos valores limites das necessidades nominais de energia para aquecimento e arrefecimento, para a ventilação e preparação de águas quentes sanitárias. Foi elaborado um modelo de análise económica de forma a quantificar os custos e os benefícios, para cada nível de reabilitação proposto, atendendo de igual modo ao tempo de recuperação do investimento inicial, uma vez que este será um dos factores decisivos para quebrar algumas das barreiras e dificuldades sentidas na reabilitação energética dos edifícios. Através da análise dos resultados, foram obtidas as conclusões abaixo apresentadas:

- A reabilitação energética de um edifício existente deve ser realizada caso a caso, através de um levantamento rigoroso dos consumos energéticos, considerando que o sistema construtivo, a forma e a distribuição dos diversos tipos de utilização interferem no desempenho térmico do edifício.

- A relação entre o construído e o exterior será um dos factores mais importantes a considerar, sendo que o tratamento da envolvente exterior deve ser bem isolado a fim de reduzir as perdas de calor. Contudo deve-se considerar que a ligação construtiva de um espaço útil com um local não aquecido – envolvente interior - pode apresentar, em alguns casos, maiores perdas em relação à envolvente exterior dado que, por mais que se reduza o coeficiente de transmissão térmica dos elementos exteriores, através de maiores espessuras de isolamento, pode não se estar a resolver o problema.

- Consta-se que a redução de consumo energético cresce em função da relação superfície afectada pela reabilitação com a superfície total da envolvente e o tipo de sistema construtivo. Para as condições interiores de referência admitidas pelo RCCTE, o isolamento exigido para a envolvente opaca comporta uma redução energética entre 41 a 59 % sobre o existente. O aumento gradual desta espessura representa reduções de consumo entre 49 a 81% face ao existente.

- A reabilitação dos vãos envidraçados da fachada, como se pode verificar, tanto no que se refere à intervenção somente ao nível dos vidros, como a proposta optimizada de substituição da caixilharia, apresenta melhorias significativas no consumo energético dos edifícios. Mantendo a caixilharia existente, reforçando apenas termicamente a parte envidraçada, podemos reduzir o consumo energético entre 24 a 35% do consumo anual das perdas. Quando passamos para um nível máximo de eficiência, substituindo o actual caixilho por outro de melhor desempenho, com corte térmico, recorrendo a materiais existentes no mercado, as reduções podem alcançar de 34 a 41 % sobre os valores existentes.

- O efeito da implementação de energias renováveis representa sempre uma medida de economia de energia primária não renovável e por conseguinte uma poupança nas emissões de CO<sub>2</sub>, contudo verifica-se a importância que deve ser dada à selecção do sistema de apoio. Independentemente do sistema de apoio escolhido, a introdução do sistema solar térmico para a produção de água quente comporta uma poupança de energia das necessidades de preparação de água quente entre 45 a 62% sobre as necessidades existentes.

- No que se refere à classificação do desempenho energético dos edifícios existentes verifica-se que a introdução de medidas passivas não representa grandes alterações assinaláveis face à situação existente, o que leva a concluir que o actual regulamento se encontra direccionado para a construção nova, valorizando mais as medidas activas do que as medidas passivas.

Como resultado final do trabalho foi proposta a análise da viabilidade económica do investimento de requalificação energética, realizada caso a caso. É proposto um modelo económico que calcula o ponto em que o custo de todos os elementos de reforço térmico pode igualar o custo presente de toda a energia necessária para aquecimento. Os resultados indicaram boa aproximação, garantindo a sua fiabilidade. Através da análise dos resultados, foram obtidas as conclusões abaixo apresentadas:

- Todas as soluções apresentadas obtiveram resultados bastante satisfatórios, destacando-se apenas os resultados menos favoráveis nas soluções de substituição das caixilharias.

- O tempo de retorno do investimento varia de caso para caso e depende das necessidades energéticas do edifício em estudo, quanto maior for a área de intervenção existem maiores custos iniciais, que conduzem a períodos de tempos de recuperação mais longos. O peso económico

dos vãos envidraçados é bastante superior ao da envolvente opaca, o que traduz um maior tempo de amortização do investimento.

- Na análise efectuada pode-se constatar que a envolvente opaca pode atingir periodos de retorno variáveis de 1 a 6 anos para as situações mais exigentes. Quando se considera apenas a intervenção nos vãos envidraçados, sem tratamento na envolvente opaca, verificamos que o tempo necessário para que o investimento do reforço térmico obtenha um resultado positivo pode alcançar, nas soluções de substituição, mais de 50 anos. Os resultados demonstram que a substituição de caixilharias, só e apenas, se justifica se as caixilharias existentes se encontrarem em péssimo estado de conservação.

- A combinação das várias soluções dos vãos envidraçados e da envolvente opaca pode comportar períodos de retorno do investimento de 2 a 8 anos, quando as soluções passam pela reabilitação térmica dos vãos envidraçados, chegando a atingir períodos de 4 a 14 anos quando a opção recai na substituição dos caixilhos existentes.

Em última análise deve-se salientar a importância do conhecimento real das características do edifício no momento de propor uma reabilitação energética, considerando que estas determinam as necessidades específicas de cada edifício e o nível de actuação que deve ser considerado, assim como as poupanças que se podem obter para cada nível de actuação. A principal conclusão obtida nesta dissertação é que o parque de edifícios existente tem um potencial de poupança energética acessível.

## **7.2 Proposta de trabalhos futuros**

Pretende-se que este trabalho constitua o reequacionar dos diversos factores que concorrem na definição de uma estratégia de reabilitação de edifícios existentes. Esta pesquisa indica que a adopção de envolventes isoladas pode traduzir reduções energéticas importantes para o aquecimento.

Na sequência são apresentadas algumas propostas de trabalhos futuros que consideram o tema deste trabalho como ponto de partida, e que podem complementar e dar continuidade a esta dissertação de mestrado:

- A inclusão de forma mais detalhada, nas análises energéticas, de outros aspectos que também influem no gasto energético dos edifícios, como por exemplo, as necessidades de arrefecimento e ventilação. Verificar, dessa forma, até que ponto o aumento das necessidades de aquecimento, podem influenciar os resultados.
- A inclusão de novos sistemas de reforço térmico da envolvente, como por exemplo a pré-fabricação.
- Adopção de métodos e técnicas de reabilitação das caixilharias existentes, considerada uma “opção ideal”.



Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

## BIBLIOGRAFIA

**ADENE** – *Legislação Nacional*, Agência para a Energia [on-line] Lisboa, Certificação Energética e Ar Interior Edifícios, [citado em 2009-01-20]. Disponível em <http://www.adene.pt/>

**ÁGUA QUENTE SOLAR** – *Apresentação da Iniciativa Pública*, "Água Quente Solar para Portugal" [on-line] Apresentação da Iniciativa Pública, [citado em 2009-08-03]. Disponível em [http://www.aguaquentesolar.com/ Publicações](http://www.aguaquentesolar.com/Publicações).

**ALMEIDA, Vitor Carlos Trindade Abrantes** – *Qualidade na construção: sumário da lição de síntese*. Porto, Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia, 1992.

**AGÊNCIA DE ENERGIA DO PORTO e FERNANDES, Eduardo Oliveira (coord.)** – *Estratégia para a Sustentabilidade da Cidade do Porto* [on-line] Porto, Câmara Municipal do Porto, 2009 [citado em 2009-09-02]. Disponível em: [http://www.cmporto.pt/users/0/58/Sustentabilidade\\_bbda45d4dcdbbee9a99622981dd683c05.pdf](http://www.cmporto.pt/users/0/58/Sustentabilidade_bbda45d4dcdbbee9a99622981dd683c05.pdf)

**AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE** – *REA 2007. Relatório do Estado do Ambiente*. [on-line] Amadora, Agência Portuguesa do Ambiente/ Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2008. [citado em 2009-05-18] Disponível em: [http://www.apambiente.pt/Destaques/Documents/REA2007\\_vpreliminar.pdf](http://www.apambiente.pt/Destaques/Documents/REA2007_vpreliminar.pdf)

**AGUIAR, R. e SANTOS, F. D.** – *MISP. Energia e Emissões de Gases com Efeito de Estufa: Um Exercício de Prospectiva para Portugal até 2070. Projecto MISP – Climate Change: Mitigation Strategies in Portugal*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian e Instituto D. Luiz, 2007.

**ALLEN, Edward** – *Como funciona un edificio. Principios elementales*. Barcelona, Gustavo Gili, 1987 (2ª edição).

**ASHRAE** – *ASHRAE Handbook-Fundamentals*. Atlanta, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1997.

**AUDIN, L., HOUGHTON, D., SHEPARD, M. and HAWTHORNE, W.** – *Lightning Technology Atlas*. Boulder (CO), E-SOURCE Inc., 1997.

**BALARAS, C., GAGLIA, A., GEORGOPOULOU, E., MIRASGEDIS, S., SARAFIDIS, Y., LALAS, D.** – "European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings" In *Building and environment*, vol. 42, n.3. Oxford, Elsevier, 2007.

**BATES, Bryson [et al.], (eds.)** - *El Cambio Climático y el Agua*. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Secretaría del IPCC, 2008.

**BOWIE, Randall. and JAHN, Anette** – *European Union - The new Directive on the energy performance of buildings – Moving closer to Kyoto* [on-line] Bruxelas, European Commission, Directorate General for Energy & Transport, 2003. [citado em 2009-05-18] Disponível em: <http://www.managenergy.net/download/r210.pdf>.

**BROWN, David J. (ed.)** – *The home house Project. The future of affordable housing*. Cambridge, The Mit Press, 2004.

**BROWN, Lester** – *PLANO B 2.0. Resgatando um Planeta sob Stress e uma Civilização em Apuros*. [on-line], [s. l.], Câmara Municipal de Trancoso, Tribunal Europeu do Ambiente e Fundação para as Artes Ciências e Tecnologías, 2006. [citado em 2009-05-18]. Disponível em: <http://www.portaldetrancoso.net/download.php?lng=pt>

**BRUNTLAND, G** – *Our common future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press, Oxford, 1987.

**BUSQUETS, Joan** – *Evaluación de las necesidades de rehabilitación*. Madrid, MOPU/ DGATU, 1985.

**CABRITA, António Manuel da Silva Rocha Reis** – *Monografia portuguesa sobre inovação e reabilitação de edifícios*. Lisboa, LNEC, 1988.

**CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA** – *Workshop: reabilitação energética de edifícios. Livro de comunicações técnicas*. Évora, cCCE, 1996.

**CHERRUAULT, Yves** – *Biomathématiques*. Paris, Presses Universitaires de France, 1983.

**CLINCH, J. P. and HEALY, J. D.** – *Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency*, Dublin, Ireland, Department of Environmental Studies, University College, 2000.

**COIAS, Vítor** – *Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios*. Lisboa, IST Press, 2006.

**COIAS, Vítor e CRAVINHO, Ana** – *Reabilitação estrutural de edifícios antigos : alvenaria, madeira : técnicas pouco intrusivas*, Lisboa, Argumentum, 2007.

**COIAS, Vítor e FERNANDES, Susana** – “Reabilitação Energética de Edifícios”. In *Pedra & Cal. Revista do Grémio das Empresas de Conservação e Restauro do Património Arquitectónico*, n. 34. Lisboa, Media Line - Comunicação Imagem Lda, 2007 (Abril/ Maio/ Junho).

**COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS** – *Livro Verde sobre a eficiência energética ou fazer mais com menos*. Bruxelas, COM, 2005.

**CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT** – “Agenda 21 on sustainable construction”. In *CIB Report Publication*, n. 237. Roterdão, CIB, 1999.

**CONTI, José Bueno** – “Considerações sobre as mudanças climáticas globais”. In *Revista do Departamento de Geografia*, vol. 16. São Paulo, Departamento de Geografia USP, 2005.

**Decreto - Lei 80/2006** de 4 de Abril – “Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)”. In *Diário da República, I Série – A, n.67, 4 de Abril de 2006*, Lisboa, 2006.

**Decreto-Lei 157/2006** - “Novo Regime do Arrendamento Urbano (NRAU)”. In *Diário da República, I Série – A, n.152, 8 de Agosto de 2006*, Lisboa, 2006.

**Decreto-Lei 54/2007-** “Programa de Financiamento para acesso à Habitação”. In *Diário da República, I Série – A, n. 50, 12 de Março de 2007*, Lisboa, 2007.

**DINIS, L. e ALMEIDA, M.,** - “Metodologia para a implementação de check lists em intervenções de reabilitação” [on-line] *Revista Engenharia Civil, CEC – REC*, n. 21 , Guimarães, Departamento de Engenharia Civil, 2004. [citado em 2009-06-02]. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/2557>

**DGEG - Balanços Energéticos da DGGE dos anos compreendidos entre 1990 e 2005** [on-line]. Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e Inovação, 2006. [citado em 2009-02-06] Disponível em: <http://www.dgge.pt>

**DGE- Eficiência Energética nos Edifícios.** [on-line], Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, 2002. [citado em 2009-03-13] Disponível em: <http://www.adene.pt>

**DGEG / IP-3E** – *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. Brochura. Lisboa, Direcção Geral da Energia e Geologia - DGGE / IP-3E, 2004.

**DGEG / IP-3E** – *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*. Brochura. Lisboa, Direcção Geral da Energia e Geologia - DGGE / IP-3E, 2004.



**DGGE/MEI** – *Balanço Energético 2007* Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, Ministério da Economia e Inovação, 2008. [citado em 2009-02-06] Disponível em: <http://www.dgge.pt>

**CNUAD** – *Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento*, Lisboa, Relatório sobre o Ambiente – Relatório de Portugal, 1992.

**ENERDATA** - *Energy efficiency in the European Union 1990–2001*. SAVE Odyssee project on energy efficiency indicators. Gières, Enerdata SA in collaboration with the Fraunhofer Institute Systems & Innovation Research, 2003.

**ENERGY RESEARCH GROUP** - *A green Vitruvius. Princípios e práticas de projectos para uma arquitectura sustentável*. Lisboa, Ordem dos Arquitectos, 2001.

**EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY** – “The changing faces of Europe's coastal areas”. *EEA Report* [on-line] n.6, Copenhagen, European Environment Agency, 2006 [citado em 2009-08-20]. Disponível em: [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2006\\_6](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6)

**FREITAS, Vasco Peixoto de [et al.], (eds.)** - *PATORREB 2009. Actas do Encontro. 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, vol. II. Porto, FEUP, 2009.

**HEALY, John D.** – “Housing conditions, energy efficiency, affordability and satisfaction with housing: a pan-European analysis”. In *Housing Studies*, vol. 18, n.3 [s. l.], Routledge, 2003.

**HUNTER, David; SALZMAN, James e ZAEKE, Durwood** - *International Environmental Law and Policy*. Nova Iorque, Foundation Press, 1998.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA** – *Estatísticas da Construção e Habitação 2008*. Lisboa, INE, 2009.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA** – *Estatísticas do Ambiente 2007*. Lisboa, INE, 2008.

**JOYCE, António** – *Energias Renováveis: estado da arte e situação em Portugal* [on-line] Lisboa, Departamento de Energias Renováveis, INETI, 2006. [citado em 2008-11-18] Disponível em <http://geologia.fc.ul.pt>

**LAMBERTS, Roberto** - *Eficiência energética na arquitectura*. São Paulo, PW ed., 1997.

**LOURENÇO, Paulo B. [et al.], (eds.)** – *Paredes de Alvenaria. Inovação e Possibilidades Actuais. Livro de Actas*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007.

**MASCARENHAS, Jorge** – *Sistemas de Construção IX. Contributos para o Cumprimento do RCCTE, Detalhes Construtivos sem Pontes Térmicas, Materiais Básicos (6ª Parte): o Betão*. Lisboa, Livros Horizonte, 2007.

**MEADOWS, Donella [et al.]** – *Além dos Limites. Da catástrofe total ao futuro sustentável*. Lisboa, Difusão Cultural, 1993.

**MEADOWS, Donella** – *Os limites do crescimento*. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1972.

**MOEWES, Gunther** - "Solar, defensive or both?" In *Detail. Zeitschrift für Architektur*, n.3. Munique, Institut für Internationale Architektur Documentation, 1997.

**NEVES, João Carvalho das** – *Análise Financeira. Métodos e técnicas*. Lisboa, Texto Editora, 1992 (6ª edição).

**NUNES, José Jorge da Silva; FERNADES, Eduardo de Oliveira e Leal, Vitor Manuel Silva** – *Estudo da problemática do aumento da penetração do gás natural face à electricidade e à água quente solar*. Porto, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, 2008.

**ORGANIZAÇÃO METEREOLÓGICA MUNDIAL** – *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2008*. Geneve, Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2009.

**PAIVA, José Vasconcelos** – *Enquadramento Legal da Actividade de Conservação e Reabilitação de Edifícios*. (Curso sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios Recentes). Lisboa, LNEC, 2002.

**PAIVA, José vasconcelos; AGUIAR, José e PINHO, Ana** – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, 2 vols. Lisboa, Instituto Nacional da Habitação e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

**PARLAMENTO EUROPEU** - "Directiva 2002/ 91/ CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético de edifícios" In *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L1/ 65 de 04/ 01/ 2003 [on-line]. Parlamento Europeu, 2003. [citado em 2009-05-07] Disponível em: [http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/CA686ACE-2B30-48F7-AD73-189B41433019/25/Directiva2002\\_91\\_CE.pdf](http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/CA686ACE-2B30-48F7-AD73-189B41433019/25/Directiva2002_91_CE.pdf)

**PARLAMENTO EUROPEU** - "Para uma estratégia temática sobre ambiente urbano. Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu e ao Comité das Regiões" In *Jornal Oficial*, C98 de 23 de Abril de 2004 [on-line]. Parlamento Europeu, 2004. [citado em 2009-06-18] Disponível em: <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28152.htm>

**PAYÁ, Miguel Andres** - *Aislamiento Térmico y Acústico*. Barcelona, Grupo Editorial CEAC, 2004.  
**PINHEIRO, Manuel Duarte** - *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006.

**PINHEIRO, Manuel Duarte** – *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006.

**PINHO, Fernando Farinha da Silva** – *Paredes de edifícios antigos em Portugal*, Lisboa, LNECNacional de Engenharia Civil, 2000.

**PINTO, A. M.** – *A Nova Regulamentação dos Edifícios e o Sistema de Certificação Energética*. Lisboa, ADENE (Agência para a Energia), 2007.

**PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS** – *Novo regime jurídico da reabilitação urbana* [on-line] Lisboa, Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Administração Local, 2009. [citado em 2009-07-17] Disponível em: <http://www.portugal.gov.pt>

**PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS** – *Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética - Portugal Eficiência 2015* [on-line] Lisboa, Presidência do Conselho de Ministros, 2008. [citado em 2009-07-17] Disponível em: <http://www.adene.pt>

**RODRIGUES, António Moret; PIEDADE, António Canha da e BRAGA, Ana Marta** – *Térmica de Edifícios*. Amadora, Edições Orion, 2009.

**ROODMAN, D. M. e LENSSEN, N.** – “A building revolution: how ecology and health concerns are transforming construction” [on-line] *Worldwatch Paper*, n. 124. Washington, Worldwatch Institute, 1995 (Março). [citado em 2009-03-20] Disponível em: <http://www.worldwatch.org/pubs/paper/124.html>

**SANTOS, Carlos A. Pina e MATIAS, Luís** – *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Versão actualizada 2006*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009 (14ª edição).

**SANTOS, Carlos A. Pina e MATIAS, Luís** – *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Soluções construtivas de edifícios antigos. Soluções construtivas das Regiões Autónomas*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009 (2ª edição).

**SANTOS, F. D. e MIRANDA, P.** – Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM. Lisboa, Gradiva, 2006.

**SEH** – *O Sector Habitação no Ano 2003*. Lisboa, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação/ Secretaria de Estado da Habitação, 2004 (Janeiro).

**SIMMONS, I. G.** – *História do Ambiente*. Lisboa, Editorial Teorema, 2007.

**SOUSA, Hipólito** – “ Alvenarias em Portugal – Situação actual e perspectivas futuras”. In *Livro de Actas do Seminário sobre Paredes de Alvenaria*. Porto, [s.n.], 2002.

**SOUSA, Hipólito** – *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação na geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida*. Porto, [s.n.], 1996. Tese de doutoramento Engenharia Civil Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto.

**STEELE, James** – *Ecological Architecture. A Critical History*. Londres, Thames and Hudson, 2005.

**TIRONE, Livia** - *Construção sustentável. Soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*. Sintra, Tirone Nunes, SA, 2008. (2ª edição).

**UNITED NATIONS (UN)** – *The habitat agenda goals and principles, commitments and the global plan of action* [on-line] United Nations, 1996. [citado em 2008-11-08] Disponível em: [www.unhabitat.org/declarations/documents/The\\_Habitat\\_Agenda.pdf](http://www.unhabitat.org/declarations/documents/The_Habitat_Agenda.pdf)

**UNFCCC** - *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change* [on-line] Nova Iorque, UNFCCC, 1998. [citado em 2009-04-09] Disponível em: [www.unfccc.de](http://www.unfccc.de)

**UNFCCC** - *United Nations Framework Convention on Climate Change* [on-line] Nova Iorque, UNFCCC, 1992. [citado em 2009-04-09] Disponível em: [www.unfccc.de](http://www.unfccc.de)

**UNITED NATIONS** – *World Populations Prospects, The 2007 Revision*, [on-line] Nova Iorque, United Nations, 2008. [citado em 2009-05-27] Disponível em: [http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP\\_Highlights\\_web.pdf](http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_Highlights_web.pdf)

**VERÍSSIMO, Miguel , ALMEIDA, Manuela e BRAGANÇA, L.** – “Jee : janela eco-eficiente (eco efficient window) : development of a high performance standard window” [on-line] , Guimarães, Departamento de Engenharia Civil, 2007. [citado em 2009-08-22]. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/8441>

**W.C.E.D.** – COMISSÃO MUNDIAL DO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTO, *O Nosso Futuro Comum*. Lisboa, Meribérica/Liber, Editores Lda, 1991.





Proposta de Intervenção  
de **Reabilitação Energética** de Edifícios de Habitação

Fátima Maria Gomes Jardim

**Anexo A** | Desenhos – Plantas, cortes e alçados dos casos de estudo

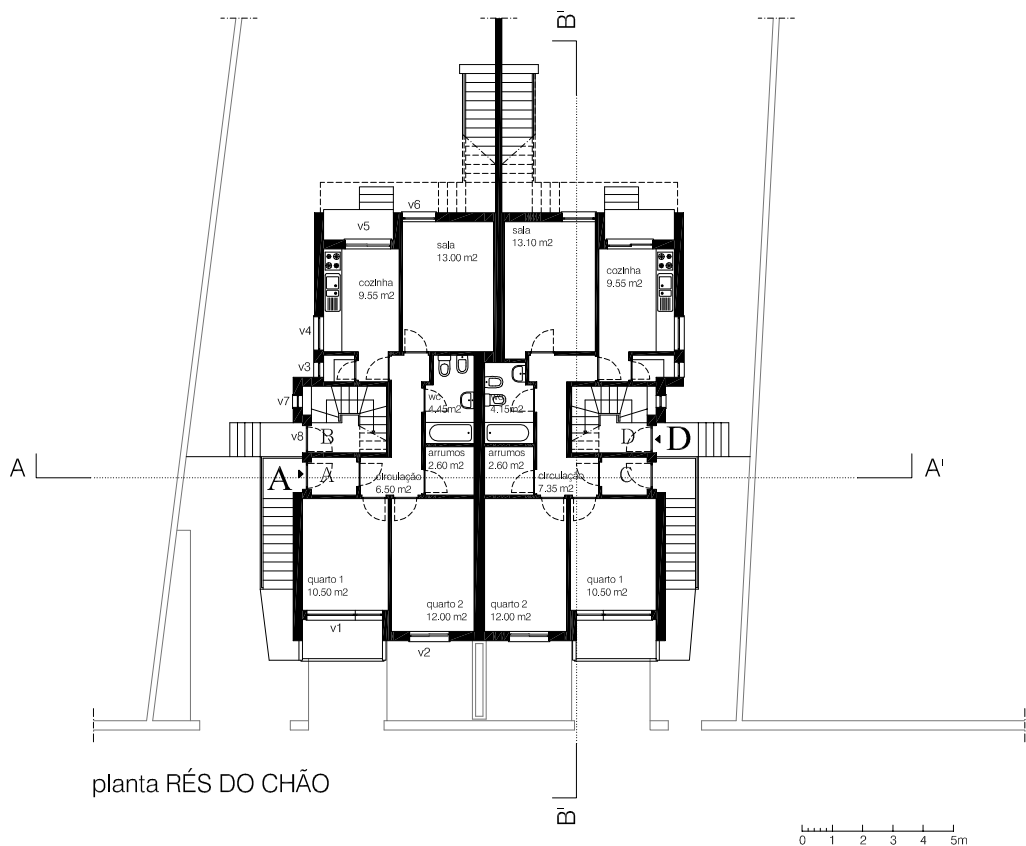
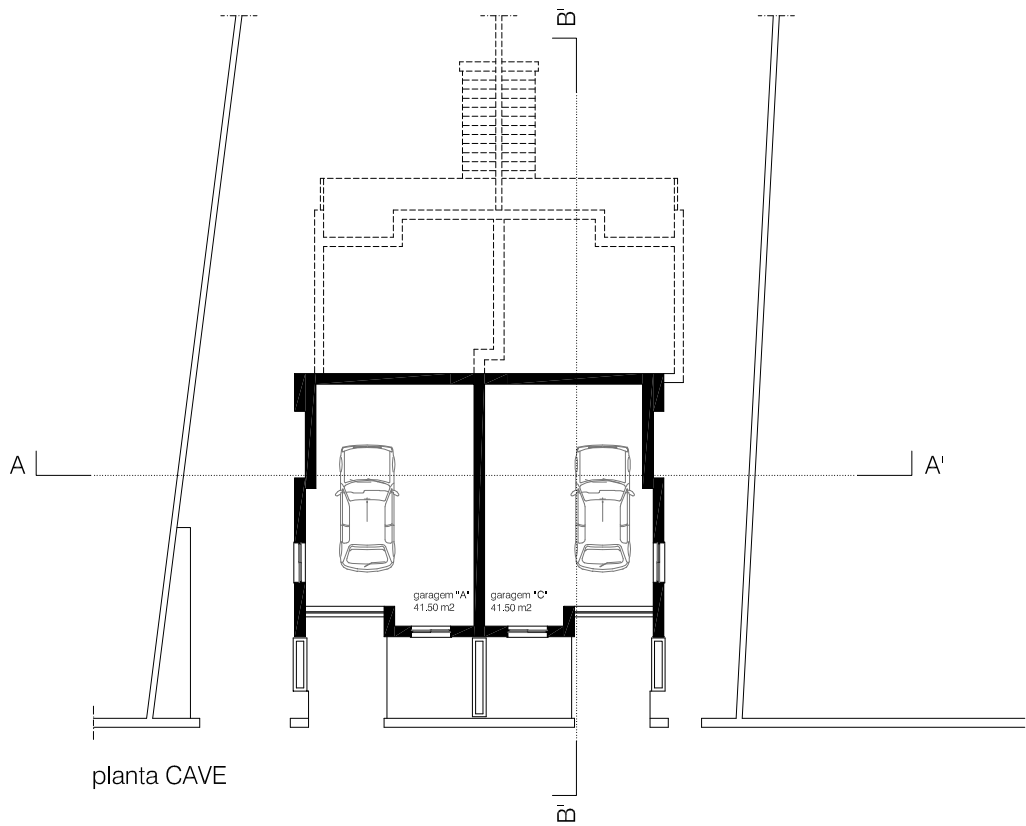
**Anexo B** | Tabelas – Cálculo RCCTE

**Anexo C** | Tabelas – Calumen

**Anexo D** | Tabelas – Análise Económica

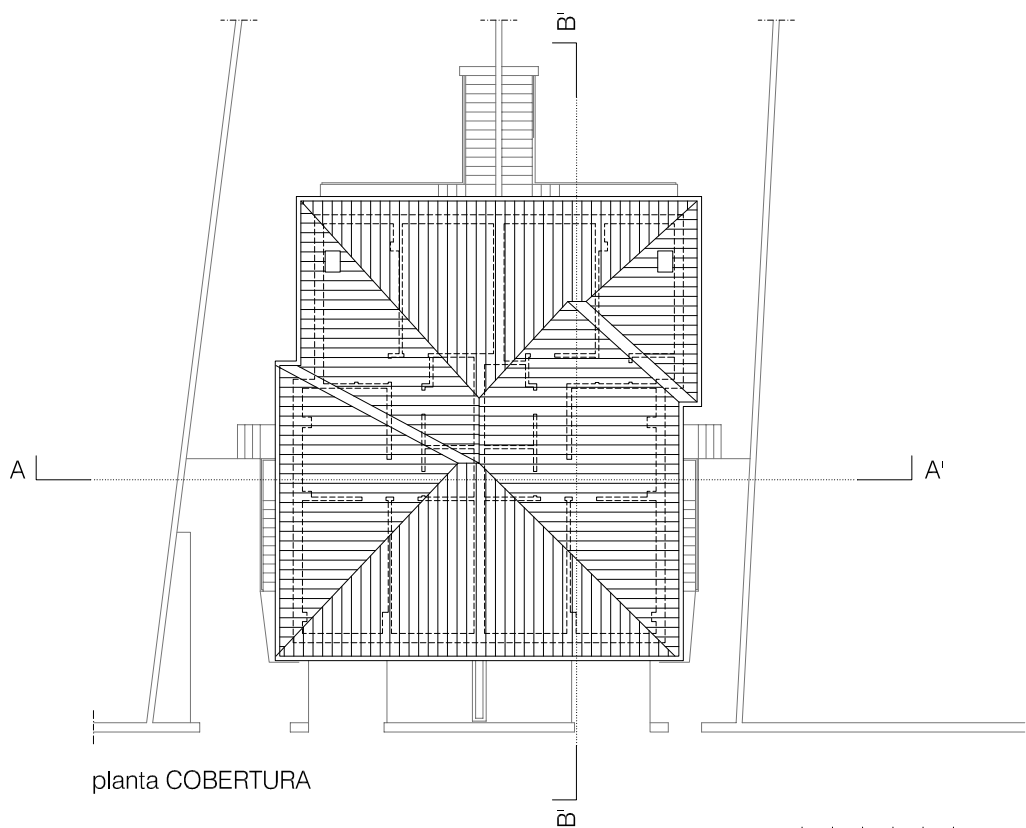
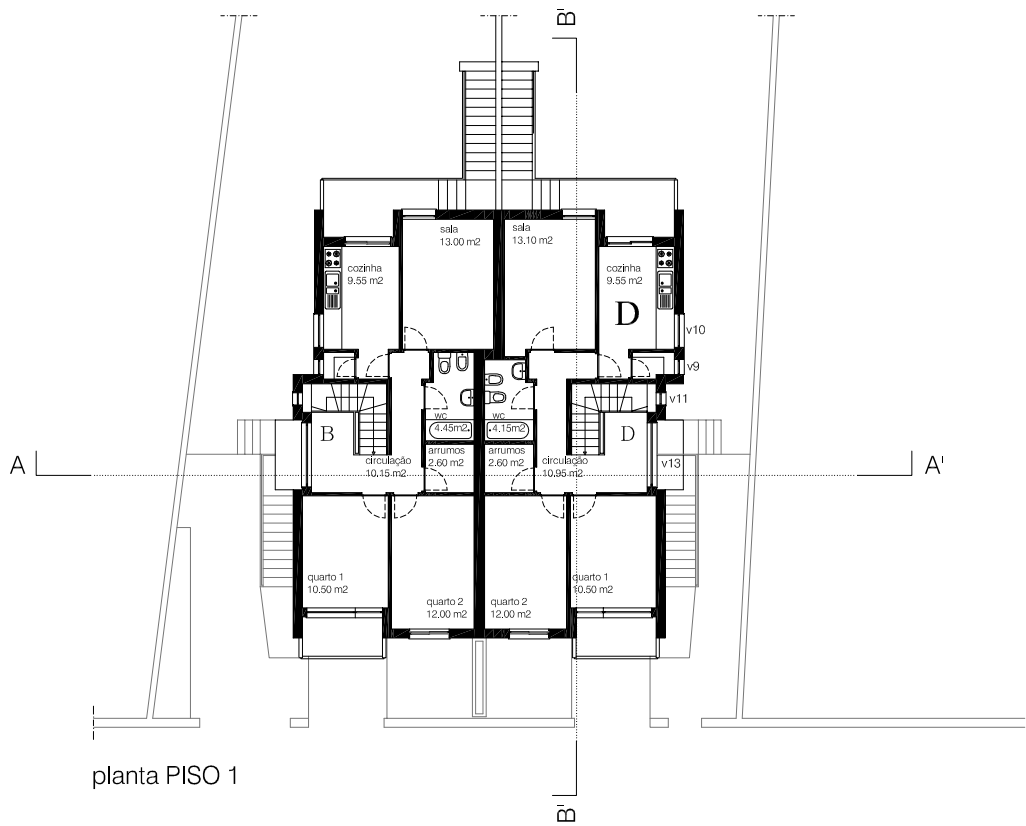
Anexo A | Desenhos – Plantas, cortes e alçados dos casos de estudo

Desenho A -1 Caso de Estudo 1 | Edifício anos 40 – Pantas



0 1 2 3 4 5m





0 1 2 3 4 5m





Desenho A -3 Caso de Estudo 1 | Edifício anos 40 – Alçados e Cortes



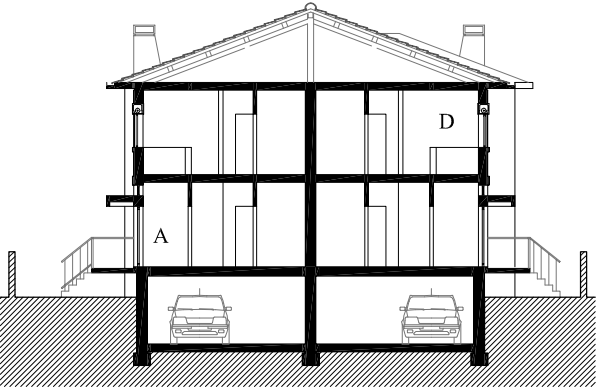
alçado Sudoeste



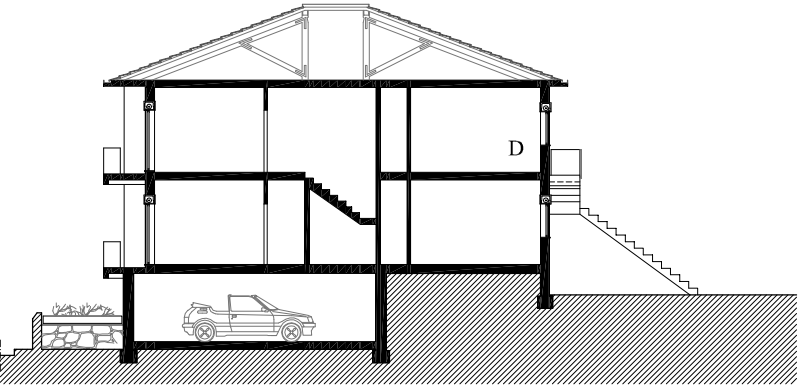
alçado Noroeste



alçado Nordeste



corte A - A'



corte B - B'

0 1 2 3 4 5m

**Desenho A -4 Caso de Estudo 1 | Edifício anos 40**

Caracterização das áreas úteis e dos envidraçados

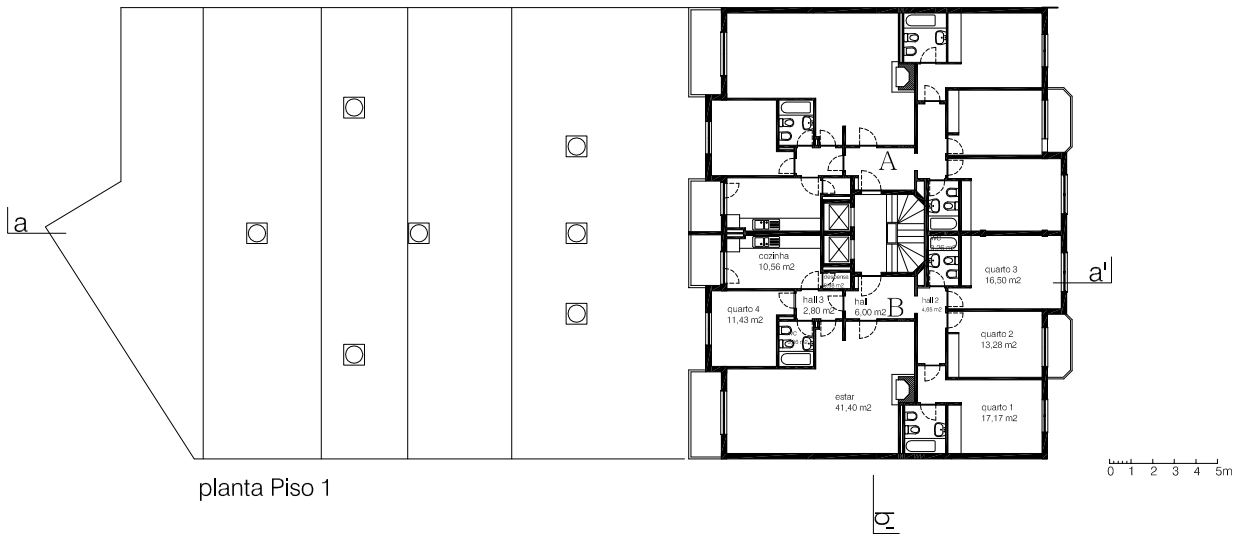
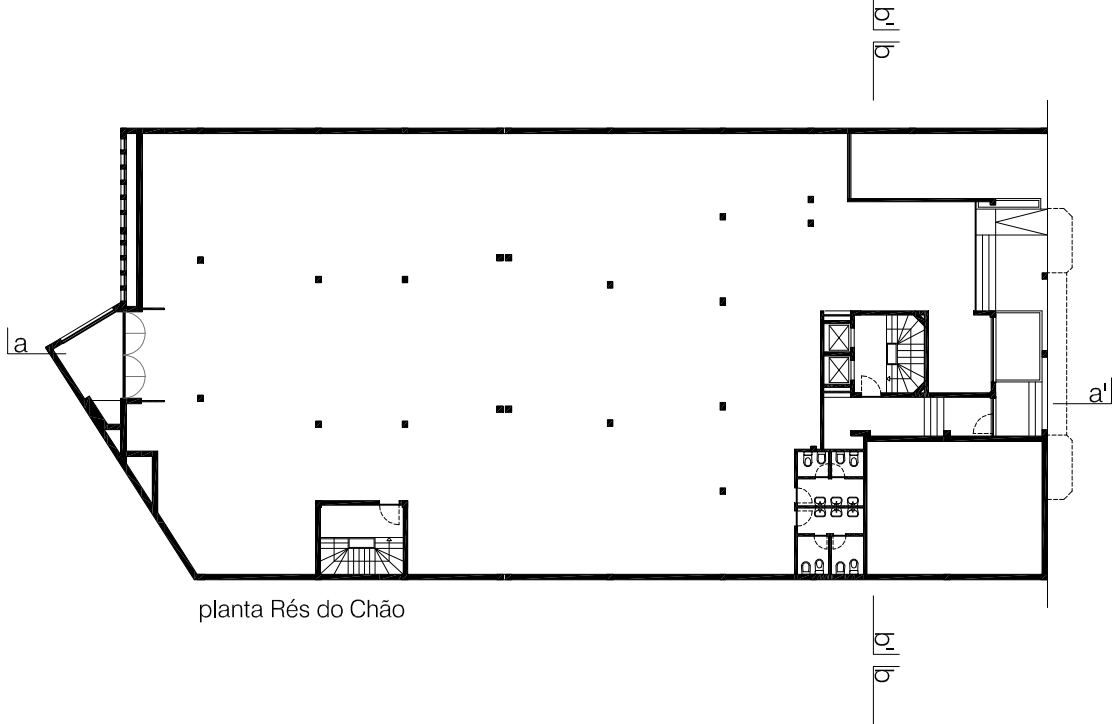
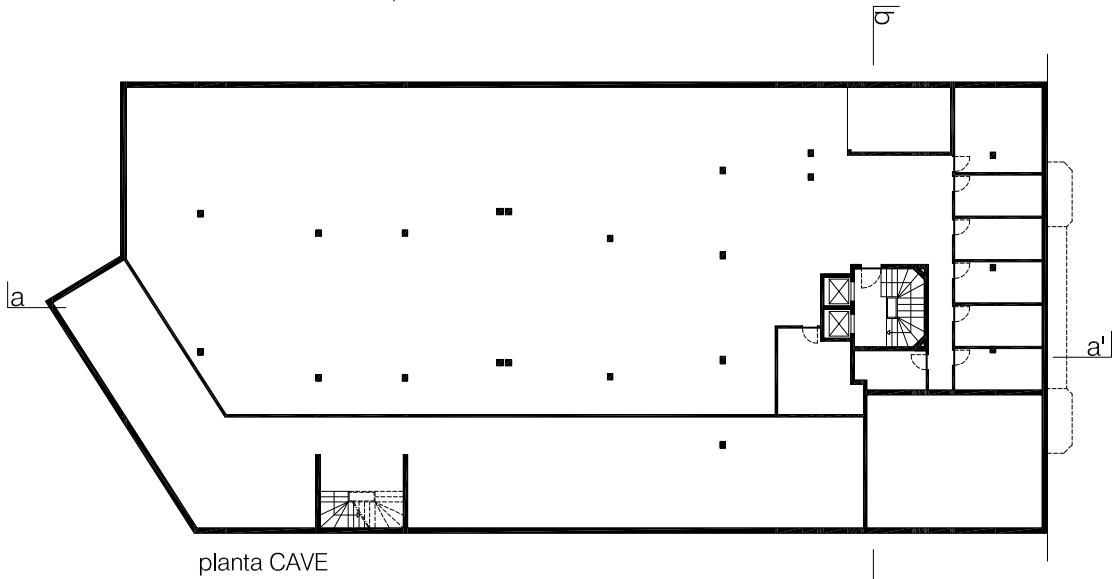
Tipologias	T2	T2	T2	T2
Fracções	A	B	C	D
Área útil	m2			
sala	13.00	13.00	13.10	13.10
cozinha	9.55	9.55	9.55	9.55
quarto 1	10.50	10.50	10.50	10.50
quarto 2	12.00	12.00	12.00	12.00
wc	4.45	4.45	4.15	4.15
despensa	0.90	0.90	1.15	1.15
circulação	6.50	14.05	7.35	14.90
Hall	1.90	1.55	1.90	1.55
Total área útil	58.80	66.00	59.70	66.90
Garagem	41.50		41.50	

Área Envidraçada								m2	dimensões L x h			
Fracções			A		B		C			D		
Nº		Orientação	SE- SW-NW		SE- NE-NW							
4	v1	SE	X	X	X	X	3.56		1.6 x 1.1 + 0.9 x 2.0			
4	v2	SE	X	X	X	X	1.43		1.3 x 1.1			
2	v3	SW	X	X			0.55		0.5 x 1.1			
4	v4	SW	X	X			1.20		1.1 x 1.1			
4	v5	NW	X	X	X	X	2.35		0.7 x 1.1 + 0.8 x 2.0			
4	v6	NW	X	X	X	X	1.20		1.1 x 1.1			
1	v7	SW		X			1.66		0.4 x 4.15			
2	v8	SW	X	X			0.40		1.15 x 0.35			
2	v9	NE			X	X	0.55		0.5 x 1.1			
2	v10	NE			X	X	1.20		1.1 x 1.1			
1	v11	NE				X	1.66		0.4 x 4.15			
2	v12	NE			X	X	0.40		1.15 x 0.35			
1	v13	NE				X	2.55		2.3 x 1.1			
1	v14	SW		X			2.55		2.3 x 1.1			
2	v15	SE	X		X		1.04		1.3 x 0.8			
1	v16	SW	X				0.78		1.3 x 0.6			
1	v17	NE			X		0.78		1.3 x 0.6			

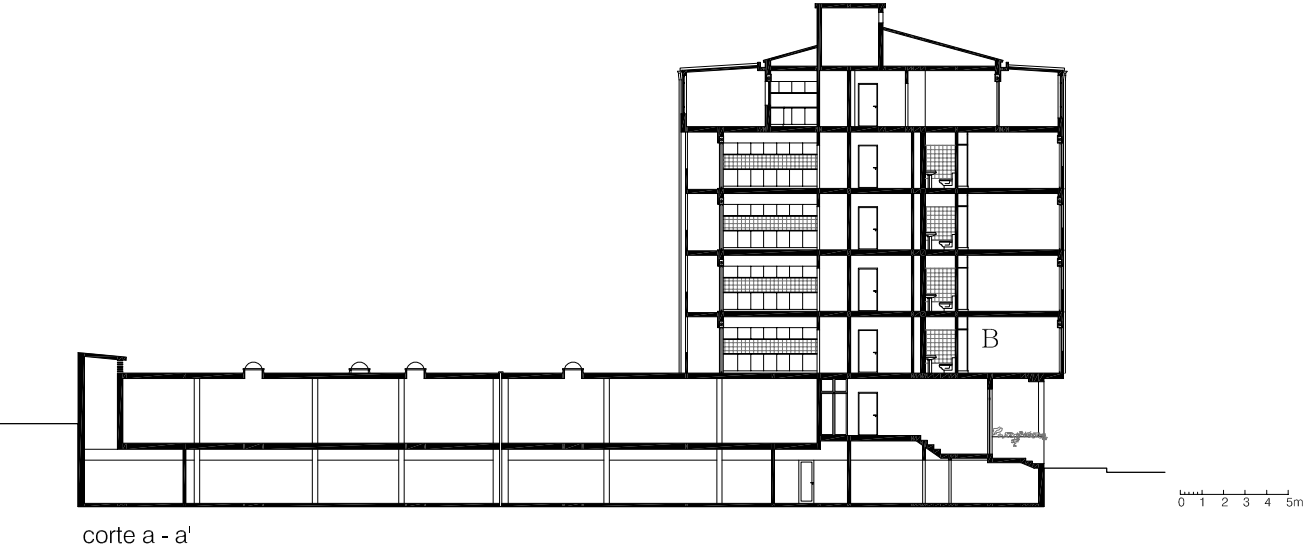
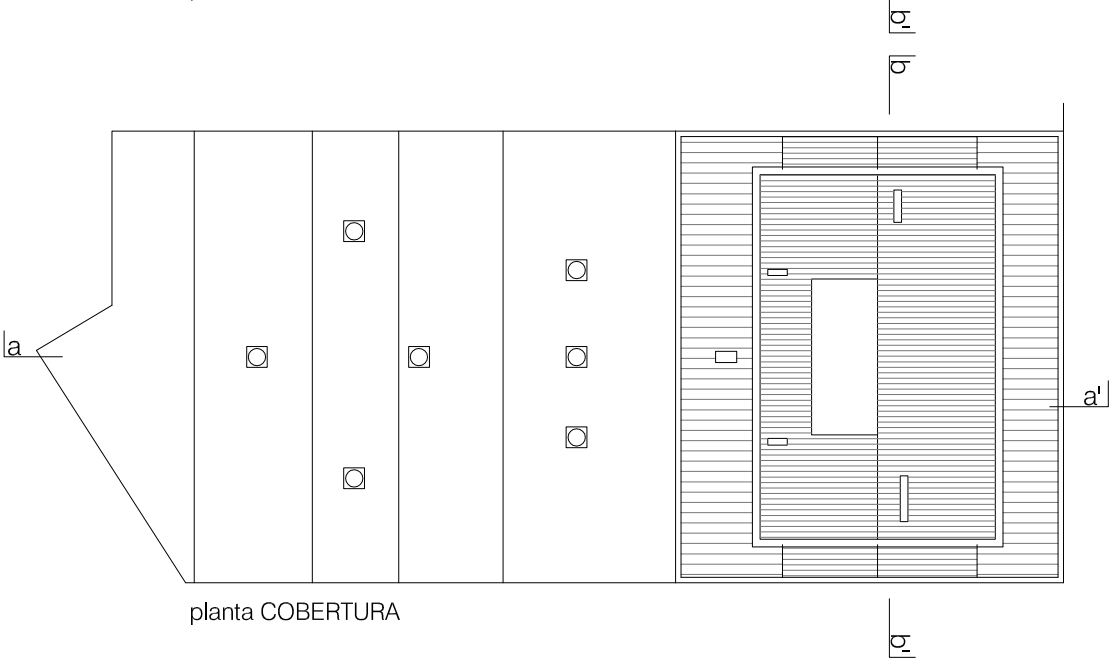
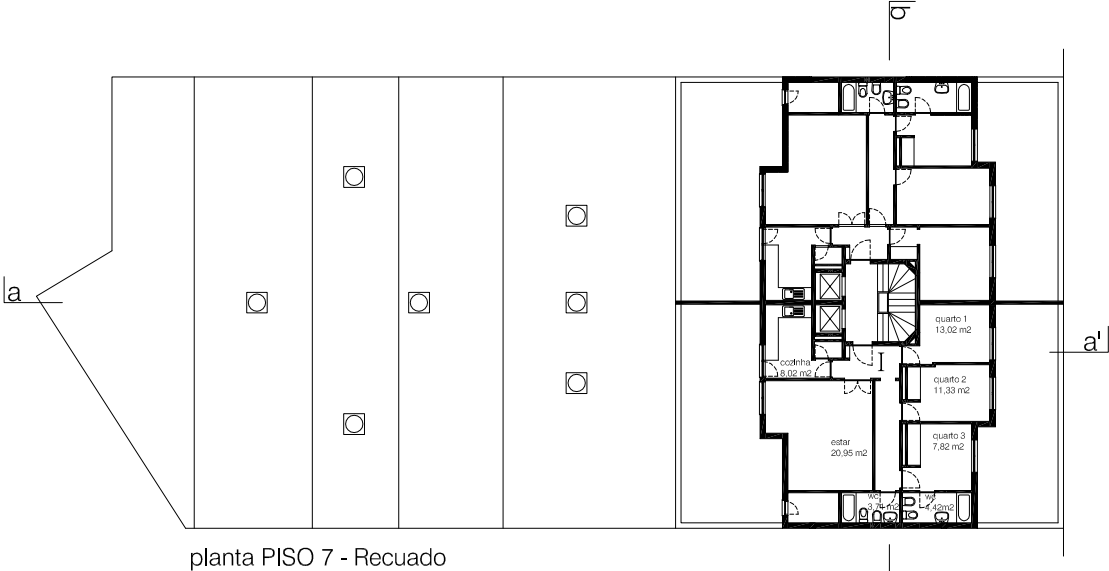
 Garagem  
s/ requisitos

Total Orientação SE	5.39 m2
Total Orientação SW	1.75 m2
Total Orientação NO	3.55 m2

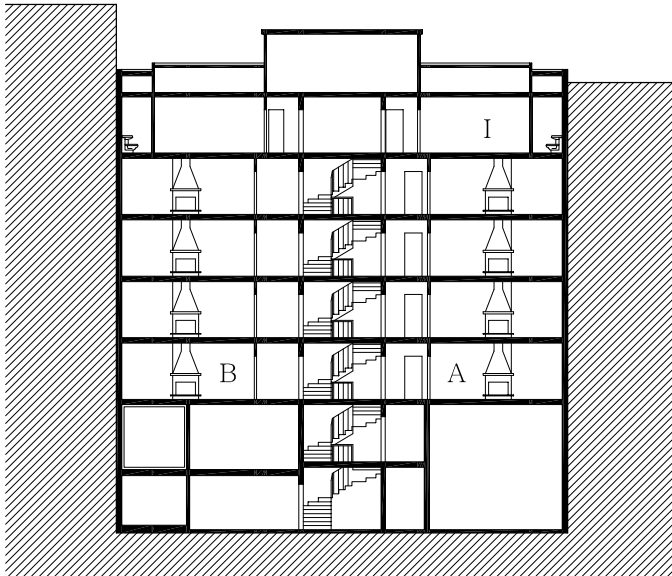
Desenho A -5 Caso de Estudo 2 | Edifício anos 80 – Pantas



Desenho A -6 Caso de Estudo 2 | Edifício anos 80 – Pantas e Corte longitudinal



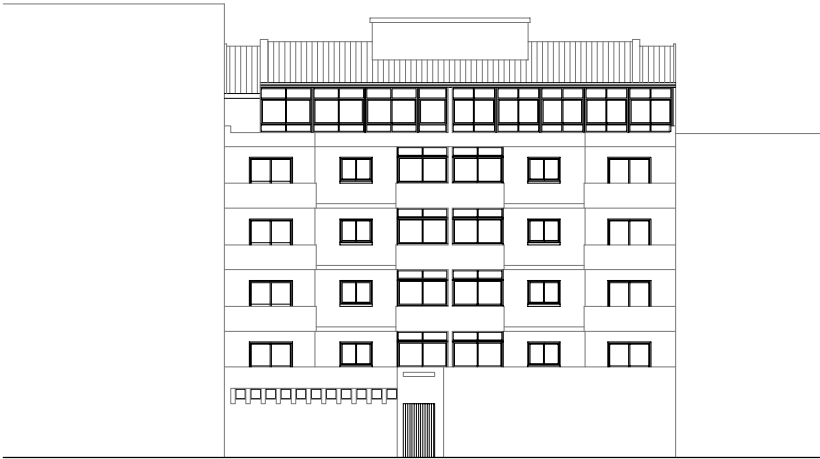
Desenho A -7 Caso de Estudo 2 | Edifício anos 80 – Corte transversal e Alçados



corte b - b'



alçado ESTE



alçado OESTE

0 1 2 3 4 5m

## Desenho A -8 Caso de Estudo 2 | Edifício anos 80

### Caracterização das áreas úteis e dos envidraçados

Tipologias	T4	T4	T3
Fracções	A	B	I
Área útil	m2		
estar	41.40	41.40	20.95
cozinha	10.56	10.56	8.02
quarto 1	17.17	17.17	13.02
quarto 2	13.28	13.28	11.33
quarto 3	16.50	16.50	7.82
quarto 4	11.43	11.43	
wc	4.30	4.30	3.71
wc	3.27	3.27	4.42
wc	3.36	3.36	
despensa	0.98	0.98	1.00
Hall	6.00	6.00	5.94
Hall 2	4.65	4.65	3.42
Hall 3	2.80	2.80	
<b>Total área útil</b>	<b>135.70</b>	<b>135.70</b>	<b>79.63</b>

Área Envidraçada					m2	dimensões L x h	perímetro
Fracções		A	B	I			
Nº	Orientação	Este					
1	v1				1.95	1.50 x 1.30	5.60
1	v2				3.78	1.80 x 2.10	7.80
1	v3				3.78	1.80 x 2.10	7.80
Total					9.51		21.20
Orientação		Oeste					
	v4				4.20	2.00 x 2.10	8.20
	v5				1.80	1.50 x 1.20	5.40
	v6				2.48	0.75 x 1.2 + 0.75 x 2.0	7.20
Total					8.48		20.80

Área Envidraçada					m2	dimensões L x h	perímetro
Fracções		A	B	I			
Nº	Orientação	Este					
1	v7				1.95	1.50 x 1.30	5.60
1	v8				3.15	1.50 x 2.10	7.20
1	v9				3.15	1.50 x 2.10	7.20
Total					8.25		20.00
Orientação		Oeste					
	v10				3.15	1.50 x 2.10	7.20
	v11				2.48	0.75 x 1.2 + 0.75 x 2.0	7.20
Total					5.63		14.40

## Anexo B | Tabelas – Cálculo RCCTE

Tabela B -1 Caso de estudo 1 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes exteriores	U (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Parede 1 - PE.1 - Sudeste	9,23	3,33	30,74
Parede 2 - PE.1 - Sudoeste	17,80	3,33	59,27
Parede 3 - Ptp.2 - Sudoeste	7,85	3,21	25,20
Parede 4 - Ptp.2 - Noroeste	4,15	3,21	13,32
Parede 5 - Ptp.1 - Noroeste	6,85	3,33	22,81
Parede 6 - Ptp.1 - Sudeste	1,39	3,41	4,74
Parede 7 - Ptp.1 - Sudoeste	0,71	3,41	2,42
Parede 8 - Ptp.1 - Noroeste	0,92	3,41	3,14
Parede 9 - Porta_ext - Sudoeste	1,80	3,33	5,99
		<b>Total</b>	<b>167,63</b>

Pavimentos exteriores	U (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
		<b>Total</b>	

Coberturas exteriores	Área (m <sup>2</sup> )	U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
		<b>Total</b>	

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
Perímetro de pavimento em contacto com o solo, a uma altura entre 0,05 m e 1,50 m em relação ao terreno exterior	10,70	2,5	26,75
		<b>Total</b>	<b>26,75</b>

Pontes Térmicas lineares Ligações entre:	Comp. B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
Ligação de fachada com varanda	2,65	0,41	1,09
Ligação de fachada com caixa de estore	8,00	1,00	8,00
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	41,46	0,20	8,29
Ligação de fachada com pavimento térreo	10,70	0,75	8,03
Ligação de fachada com Lna	8,57	0,50	4,29
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	21,92	0,50	10,96
Ligação entre duas paredes verticais	14,00	0,50	7,00
		<b>Total</b>	<b>47,65</b>

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma

(W/°C)

<b>Total</b>	<b>242,03</b>
--------------	---------------

Tabela B -2 Caso de estudo 1 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1b

Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m²)	U (W/m²°C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
<b>Total</b>				

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m²)	U (W/m²°C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
Pav. Int 1 - Pav. ENU.1	29,88	1,37	0.5	20,47
<b>Total</b>				<b>20,47</b>

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m²)	U (W/m²°C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
<b>Total</b>				

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m²)	U (W/m²°C)	$\tau$ (-)	U.A. $\tau$ (W/°C)
<b>Total</b>				

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $t > 0,7$ )	Comp. (m)	$\Psi$ (W/m°C)	$\tau$ (-)	$\Psi.B.t$ (W/m°C)
<b>Total</b>				

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C) **TOTAL** **20,47**

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.



**Tabela B -3** Caso de estudo 1 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
<b>Verticais e Horizontais:</b>			
Env. 1 - Env1 - Sudeste	3,56	3,90	13,88
Env. 2 - Env2 - Sudeste	1,43	3,90	5,58
Env. 3 - Env3 - Sudoeste	0,55	3,90	2,15
Env. 4 - Env4 - Sudoeste	1,20	3,90	4,68
Env. 5 - Env5 - Noroeste	2,35	3,90	9,17
Env. 6 - Env6 - Noroeste	1,20	3,90	4,68
Env. 7 - Env8 - Sudeste	0,40	3,90	1,56
	<b>TOTAL</b>		<b>41,69</b>

**Tabela B -4** Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de pavimento (Ap)	58,80	(m <sup>2</sup> )
	x	
Pé-direito médio	2.80	(m)
	=	
Volume interior	(V) 164,64	(m <sup>3</sup> )
Ventilação Natural ou Mecânica	Natural	

**VENTILAÇÃO NATURAL**

Cumpr NP 1037-1?	(S ou N)	Não	<b>Se SIM:</b>	RPH	-	0.6
<b>Se NÃO:</b>						
Classe da caixilharia	(S/C, 1, 2 ou 3)	S/C		Taxa de Renovação nominal:		
Caixas de estore	(Sim ou Não)	Sim		RPH	-	1.00
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	Não	Área dos vãos com caixa de estore (m <sup>2</sup> )			10.29
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1,2,3 ou 4)	2				
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	Não				
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)					
Área de Envidraçados > 15% Ap?	(Sim ou Não)	Não	Se Sim agrava 0.1			
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	Não	Ver Quadro IV.1 Se Sim reduz 0.05 desde que Não cumpra NP1037-1			

Volume	164,64	
	X	
Taxa de Renovação nominal	1,15	
	X	
	0,34	
	=	
TOTAL	64,16	(W/°C)

Tabela B -5 Caso de estudo 1 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
SE	Simples	3,56	0,84	0,70	0,441	0,65	0,90	0,54
SE	Simples	1,43	0,84	0,70	0,713	0,65	0,90	0,35
SW	Simples	0,55	0,84	0,70	0,713	0,65	0,90	0,13
SW	Simples	1,20	0,84	0,70	0,713	0,65	0,90	0,29
NW	Simples	2,35	0,33	0,70	0,436	0,65	0,90	0,26
NW	Simples	1,20	0,33	0,70	0,778	0,65	0,90	0,13
SE	Simples	0,40	0,84	0,70	0,713	0,65	0,90	0,10

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

1,81

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

no

Continente

na Zona I

2

(kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6,70

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

1128,32

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

Tipo de Edifício

Residencial

4

(W/m²)

x

Duração da Estação de Aquecimento

6,7

(meses)

x

Área Útil de pavimento

58,8

(m²)

x

0,72

(kWh/ano)

=

Ganhos Internos Brutos

1134,60

Ganhos Totais Úteis:

Y =  $\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$

2262,92

14498,44

Inércia do edifício

Forte

Fonte

γ =

0,156

Factor de Utilização dos Ganhos Solares

(\*)

1,000

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

2262,92

=

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)

2262,14

**Tabela B -6** Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1f**

**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

**FACTOR DE FORMA**

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m <sup>2</sup>
Paredes Exteriores	50,70
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	
Envidraçados Exteriores	10,69
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. t )</i>	
Paredes Interiores	
Coberturas Interiores	
Pavimentos Interiores	14,94
Envidraçados Interiores	
<i>Área Total:</i>	76,33
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	164,64
	=
<b>FF</b>	0,46
<b>Graus-Dia no Local (°C.dia)</b>	1640
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
<b>Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)</b>	69,28

**Tabela B -7** Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)	
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)		242,03
Envolvente Interior (da FC IV.1b)		20,47
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)		41,69
Renovação de Ar (da FC IV.1d)		64,16
		=
Coeficiente Global de Perdas	(W/°C)	368,35
		X
Graus-Dia no Local	(°C.dia)	1640
		X
		0.024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento	(kWh/ano)	14.498,44
		+
	(kWh/ano)	
		-
Ganhos Totais Úteis	(kWh/ano) (da FC IV.1e)	2.262,14
		=
Necessidades de Aquecimento	(kWh/ano)	12236,30
		/
Área Útil de pavimento	(m²)	58,8
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	(kWh/m².ano)	208,10
		<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b>	(kWh/m².ano)	69.28

**Tabela B -8** Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1g**

**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2334,25	
Perdas térmicas totais	(FCV.1a)	4804,64	
		=	
γ		0.49	
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0.97	
		=	
		0.03	
		X	
Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2334,25	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		59,26	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)			(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
		=	
	TOTAL	59,26	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m2)		58,80	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc		1,01	
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv		16	

Tabela B -9 Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária ( $N_{ac}$ )**

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	3	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, $M_{AQS}$	120	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, $\Delta T$	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, $n_d$ (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, $Q_a$	2292,38	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, $\eta$	0.70	
	=	
	3274,83	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, $E_{solar}$		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, $E_{ren}$		
	=	
	3274,83	
	/	
Área útil de pavimento, $A_p$	58,80	(m <sup>2</sup> )
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, $N_{ac}$	55,69	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, $N_a$	60,34	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Tabela B -10 Caso de estudo 1 (Fracção A)

**Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)**

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	208,10	(kWh/m².ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, <b>E<sub>solar</sub></b>		(kWh/m².ano)
	/	
Área útil de pavimento, <b>Ap</b>	58,80	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, <b>h<sub>1</sub></b>	100,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	1,01	(kWh/m².ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, <b>h<sub>v</sub></b>	300,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	55.69	(kWh/m².ano)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	22,20	(kgep/m².ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>N<sub>l</sub></b>	8,91	(kgep/m².ano)
sabendo que:		
{ Necessidades nominais de aquec. máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	69,28	
{ Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b> (kWh/m².ano)	16,00	
{ Limite máximo das necessidades para preparação da AQS, <b>Na</b> (kWh/m².ano)	60,34	
<b>CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO</b>	E	(Ntc/Nt = 2,49)

Edifício anos 40 – Fracção A (Rua da Chavinha)



Tabela B -11 Caso de estudo 1 (Fracção D)

**Folha de Cálculo FCIV.1a**  
**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

<b>Paredes exteriores</b>	U (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Parede 1 - PE.1 - Sudeste	10,61	3,33	35,33
Parede 2 - PE.1 – Nordeste	29,52	3,33	98,30
Parede 3 - Ptp.2 – Nordeste	8,32	3,21	26,71
Parede 4 - Ptp.1 – Noroeste	7,25	3,33	24,14
Parede 5 - Ptp.2 – Noroeste	4,65	3,21	14,93
Parede 6 - Ptp.1 - Sudeste	1,39	3,41	4,74
Parede 7 - Ptp.1 – Noroeste	0,92	3,41	3,14
Parede 8 - Ptp.1 – Nordeste	1,50	3,41	5,12
Parede 9 -Porta_ext - Norte	1,80	3,33	5,99
		<b>Total</b>	<b>218,40</b>

<b>Pavimentos exteriores</b>	U (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
		<b>Total</b>	

<b>Coberturas exteriores</b>	Area (m <sup>2</sup> )	U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
		<b>Total</b>	

<b>Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo</b>	Perímetro B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
		<b>Total</b>	

<b>Pontes Térmicas lineares</b>	Comp. B (m)	Ψ (W/m°C)	Ψ.B (W/°C)
<b>Ligações entre:</b>			
Ligação de fachada com varanda	4,96	0,41	2,03
Ligação de fachada com varanda	1,03	0,70	0,72
Ligação de fachada com caixa de estore	10,86	1,00	10,86
Ligação de fachada com pavimento LNA	2,20	0,50	1,10
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	19,19	0,50	9,60
Ligação de fachada com pavimentos com cobertura inclinada	24,42	0,50	12,21
		<b>Total</b>	<b>36,52</b>

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma

(W/°C)

<b>Total</b>	<b>254,91</b>
--------------	---------------

**Tabela B -12** Caso de estudo 1 (Fracção D)

**Folha de Cálculo FC IV.1b**

**Perdas associadas à Envolvente Interior**

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
<b>Total</b>				

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Pav. Int 1 - Pav_INA.1	1,69	1,37	0.5	1,16
<b>Total</b>				<b>1,16</b>

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Cob. Int. 1 - Pav_Lna.2 - Inclinada	66,9	2,70	1	180,63
<b>Total</b>				<b>180,63</b>

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
<b>Total</b>				

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com t > 0,7)	Comp. (m)	ψ (W/m°C)	t (-)	ψ.B.t (W/m°C)
Ligação de fachada com pavimentos com cobertura inclinada	24,42	0,50		
<b>Total</b>				

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

<b>TOTAL</b>	<b>181,79</b>
--------------	---------------

*Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:*

*Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma*

*Edifícios anexos;*

*Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;*

*Sotãos não-habitados.*

**Tabela B -13** Caso de estudo 1 (Fracção D)

Folha de Cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b>Verticais e Horizontais:</b>			
Env. 1 - Env1 - Sudeste	3,56	3,40	12,10
Env. 2 - Env2 - Sudeste	1,43	3,40	4,86
Env. 3 - Env5 - Noroeste	2,35	3,40	7,99
Env. 4 - Env6 - Noroeste	1,20	3,40	4,08
Env. 5 - Env9 - Nordeste	0,55	3,40	1,87
Env. 6 - Env10 - Nordeste	1,20	3,40	4,08
Env. 7 - Env11 - Nordeste	1,66	3,40	5,64
Env. 8 - Env11 - Nordeste	0,40	3,40	1,36
Env. 9 - Env13 - Nordeste	2,55	3,40	8,67
	<b>TOTAL</b>		<b>50,66</b>

**Tabela B -14** Caso de estudo 1 (Fracção D)

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de pavimento (Ap)	66,90	(m2)
	X	
Pé-direito médio	2.80	(m)
	-	
Volume interior	(V) 187,32	(m3)
Ventilação Natural ou Mecânica	Natural	

<b>VENTILAÇÃO NATURAL</b>			
Cumpr NP 1037-1?	(S ou N)	Não	<b>Se SIM:</b> RPH - 0.6
<b>Se NÃO:</b>			
Classe da caixilharia	(S/C, 1, 2 ou 3)	S/C	Taxa de Renovação nominal:
Caixas de estore	(Sim ou Não)	Sim	RPH - 1.14
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	Não	Área dos vãos com caixa de estore (m2)
			12,84
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1,2,3 ou 4)	2	
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	Não	
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)		
Área de Envidraçados > 15% Ap ?	(Sim ou Não)	Sim	Se Sim agrava 0.1
			Ver Quadro IV.1
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	Não	Se Sim reduz 0.05 desde que Não cumpra NP1037-1

Volume	187,32	
	X	
Taxa de Renovação nominal	1,14	
	X	
	0,34	
	=	
TOTAL	72,36	(W/°C)

Tabela B -15 Caso de estudo 1 (Fracção D)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
SE	Simples	3,56	0,84	0,70	0,444	0,65	0,90	0,54
SE	Simples	1,43	0,84	0,70	0,713	0,65	0,90	0,35
NW	Simples	2,35	0,33	0,70	0,694	0,65	0,90	0,26
NW	Simples	1,20	0,33	0,70	0,778	0,65	0,90	0,13
NE	Simples	0,55	0,33	0,70	0,648	0,65	0,90	0,06
NE	Simples	1,20	0,33	0,70	0,648	0,65	0,90	0,13
NE	Simples	1,66	0,33	0,70	0,648	0,65	0,90	0,18
NE	Simples	0,40	0,33	0,70	0,648	0,65	0,90	0,04
NE	Simples	2,55	0,33	0,70	0,648	0,65	0,90	0,28

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

1,99

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (G<sub>sul</sub>)

no  
na Zona  
I

Continente

2

(kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6.70

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

1240,02

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

Tipo de Edifício

Residencial

4

(W/m²)

x

Duração da Estação de Aquecimento

6.7

(meses)

x

Área Útil de pavimento

66,9

(m²)

x

0.72

=

Ganhos Internos Brutos

1290,90

(kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

Y =

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos  
Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)

2262,92

14498,44

Inércia do edifício

Forte

Fonte

γ =

0.115

Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η)

1,000

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

2530,93

=

Ganhos Totais Úteis  
(kWh/ano)

2530,67

**Tabela B -16** Caso de estudo 1 (Fracção D)

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m <sup>2</sup>
Paredes Exteriores	65,96
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	
Envidraçados Exteriores	14,90
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. t )</i>	
Paredes Interiores	
Coberturas Interiores	66,90
Pavimentos Interiores	0,85
Envidraçados Interiores	
<i>Área Total:</i>	148,61
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	187,32
	=
<b>FF</b>	0,79
Graus-Dia no Local (°C.dia)	1640
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	87,08

Tabela B -17 Caso de estudo 1 (Fracção D)

Folha de Cálculo FC IV.2  
Cálculo do Indicador Nic

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)	
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)		254,91
Envolvente Interior (da FC IV.1b)		181,79
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)		50,66
Renovação de Ar (da FC IV.1d)		72,36
		=
Coeficiente Global de Perdas	(W/°C)	559,72
		X
Graus-Dia no Local	(°C.dia)	1640
		X
		0.024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento	(kWh/ano)	22.030,74
		+
	kWh/ano	
		-
Ganhos Totais Úteis	(kWh/ano) (da FC IV.1e)	2.530,67
		=
Necessidades de Aquecimento	(kWh/ano)	19500,07
		/
Área Útil de pavimento	(m²)	66,9
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	(kWh/m²,ano)	291,48
		<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b>	(kWh/m²,ano)	87,08

**Tabela B -18** Caso de estudo 1 (Fracção D)

**Folha de Cálculo FCV.1g**

**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2576,00	
		/	
Perdas térmicas totais	(FCV.1a)	5998,01	
		=	
Y		0.43	
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0.98	
		=	
		0.02	
		X	
Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2576,00	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		42,75	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores			(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	42,75	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		66,90	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - <b>Nvc</b>		0,64	
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b>		16	

Edifício anos 40 – Fracção D (Rua da Chavinha)



**Tabela B -19** Caso de estudo 1 (Fracção D)

**Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária (Nac)**

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	3	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, <b>M<sub>AQS</sub></b>	120	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, <b>ΔT</b>	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, <b>n<sub>d</sub></b> (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, <b>Q<sub>a</sub></b>	2292,38	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, ha	0.70	
	=	
	3274,83	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, <b>E<sub>solar</sub></b>		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, <b>E<sub>ren</sub></b>		
	=	
	3274,83	
	/	
Área útil de pavimento, <b>A<sub>p</sub></b>	66,90	(m2)
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	48,95	(kWh/m2.ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	53,03	(kWh/m2.ano)

Tabela B -20 Caso de estudo 1 (Fracção D)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	291,48	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, $E_{solar}$		(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	/	
Área útil de pavimento, <b>Ap</b>	66,90	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, <b>hi</b>	100,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	0,64	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, <b>hv</b>	300,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	48,95	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	22,65	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b>	8,09	(kgep/m <sup>2</sup> .ano)
sabendo que:		
{ Necessidades nominais de aquec. máximas - <b>Ni</b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	87,08	
{ Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	16,00	
{ Limite máximo das necesides para preparação da AQS, <b>Na</b> (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	53,03	
<b>CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO</b>	F	(Ntc/Nt = 2,8)

Edifício anos 40 – Fracção D (Rua da Chavinha)

**Tabela B -21** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FCIV.1a**

**Perdas associadas à Envolvente Exterior**

Paredes exteriores	U (m²)	U (W/m²°C)	U.A (W/°C)
Parede 1 - PE.1 - Este	11.02	1.09	12.01
Parede 2 PE.1 - Oeste	19.22	1.09	20.95
Parede 3 Ptp.1 - Este	1.17	2.56	3.00
Parede 4 Ptp.1 - Oeste	1.82	2.56	4.66
Parede 5 Ptp.2 - Este	1.28	3.08	3.94
Parede 6 - Ptp.2 - Oeste	0.88	3.08	2.71
Total			47.27

Paredes exteriores	U (m²)	U (W/m²°C)	U.A (W/°C)
Pavimento1 - PavE.1	47.63	2.17	103.36
Total			103.36

Coberturas exteriores	Area (m²)	Uascendente (W/m²°C)	U.A (W/°C)
Total			

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B (m)	Ψ (W/m²°C)	Ψ.B (W/°C)
Total			

Pontes Térmicas lineares	Comp. B (m)	Ψ (W/m²°C)	Ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Ligação de fachada com varanda	6.96	0.49	3.38
Ligação de fachada com caixa de estore	8.60	1.00	8.60
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	34.80	0.20	6.96
Ligação de fachada com Lna ou exteriores	12.62	0.50	6.31
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	19.58	0.50	9.79
Ligação de duas paredes verticais	7.80	0.50	3.90
Total			38.94

**Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

Total	189.56
-------	--------

**Tabela B -22** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1b**

**Perdas associadas à Envolvente Interior**

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Par. Int. 1 - Pl.1	6,5	1.33		
Par. Int. 2 - Pl.2	9.72	2.17	0.3	6.33
Par. Int. 3 - PE.1 (lna)	3.52	1	0.8	2.82
Par. Int. 4 - Ptpi.1	2.29	2.08		
Par. Int. 5 - Ptpi.1	1.3	2.08		
Par. Int. 6 - Pl.1	35.37	1.33	0.6	28.23
Par. Int. 7 - Porta	1.80	2.56	0.3	1.38
Par. Int. 8 - Ptp.1 (lna)	0.38	2.08	0.8	0.63
			<b>Total</b>	<b>39.38</b>

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Pav. Int 1 - Pav_lna.1	88.07	1.2	0.6	63.41
			<b>Total</b>	<b>63.41</b>

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
			<b>Total</b>	

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Env. Int. 1 - Env6	2.48	3.03	0.8	6.01
			<b>Total</b>	<b>6.01</b>

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com $\alpha > 0,7$ )	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	t (-)	Ψ.B.t (W/m°C)
Ligação de fachada com varanda	2.31	0.45	0.8	0.83
Ligação de fachada com caixa de estore	1.50	1.00	0.8	1.20
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	7.20	0.20	0.8	1.16
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	2.31	0.50	0.8	0.92
Ligação de fachada com Lna ou exteriores	2.31	0.50	0.8	0.92
			<b>Total</b>	<b>5.03</b>

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**

(W/°C)

<b>TOTAL</b>	<b>113,84</b>
--------------	---------------

**Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:**

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Edifício anos 80 – Fracção A (Rua Prof. Bento Jesus Caraça)

**Tabela B -23** Caso de estudo 2 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

<b>Vãos envidraçados exteriores</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b>Verticais e Horizontais:</b>			
Env. 1 - Env1 - Este	1,95	4,10	8,00
Env. 2 - Env2 - Este	3,78	4,10	15,50
Env. 3 - Env3 - Este	3,78	4,10	15,50
Env. 4 - Env4 - Oeste	4,20	4,10	17,22
Env. 5 - Env5 - Oeste	1,80	4,10	7,38
		<b>TOTAL</b>	<b>63,59</b>

**Tabela B -24** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de pavimento (Ap)	135.70	(m <sup>2</sup> )
	x	
Pé-direito médio	2.60	(m)
	-	
Volume interior (V)	352.82	(m <sup>3</sup> )
Ventilação Natural ou Mecânica	Natural	

**VENTILAÇÃO NATURAL**

Cumpre NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="Não"/>	Se SIM:	RPH = <input type="text" value="0.6"/>
<b>Se NÃO:</b>				
Classe da caixilharia	(S/C, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="S/C"/>	Taxa de Renovação nominal:	
Caixas de estore	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>	RPH = <input type="text" value="1.00"/>	
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>		
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1,2,3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>		
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>		
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)	<input type="text"/>		
Área de Envidraçados > 15% Ap ?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>	Se Sim agrava 0.1	<input type="text" value="Ver Quadro IV.1"/>
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>	Se Sim reduz 0.05 desde que Não cumpra NP1037-1	

Volume	352,82	
	x	
Taxa de Renovação nominal	1,00	
	x	
	0,34	
	-	
TOTAL	119,96	(W/°C)

Edifício anos 80 – Fracção A (Rua Prof. Bento Jesus Caraça)

Tabela B -25 Caso de estudo 2 (Fracção A)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
E	Simples	1,95	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,23
E	Simples	3,78	0,56	0,70	0,412	0,70	0,90	0,45
E	Simples	3,78	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,45
W	Simples	4,20	0,56	0,70	0,381	0,70	0,90	0,50
W	Simples	1,80	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,21

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

1,85

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (Gsol)

no  
na Zona  
I

Continente

2

(kWh/m².mês) - do Quadro 8  
(Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6,70

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

1150,73

Ganhos Internos:

Tipo de Edifício

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

Residencial

4

(W/m²)

x

Duração da Estação de Aquecimento

6,7

(meses)

x

Área Útil de  
pavimento

135,7

(m²)

x

0,72

(kWh/ano)

=

Ganhos Internos  
Brutos

2618,47

Ganhos Totais Úteis:

• =  $\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$

3769,19

18815,69

Inércia do edifício

Fonte

• =

0,200

Factor de Utilização dos Ganhos Solares (\*)

0,999

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos  
Internos Brutos

3769,19

=

Ganhos Totais Úteis  
(kWh/ano)

3765,67

**Tabela B -26** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.1f**

**Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)**

**FACTOR DE FORMA**

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	$m^2$
Paredes Exteriores	35,39
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	47,63
Envidraçados Exteriores	15,51
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A.□)</i>	
Paredes Interiores	27,80
Coberturas Interiores	
Pavimentos Interiores	52,84
Envidraçados Interiores	1,98
<i>Área Total:</i>	181,15
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	352,82
	=
<b>FF</b>	0,51
Graus - Dia no Local (°C.dia)	1610
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	68,90



**Tabela B -27** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)	
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)		189,56
Envolvente Interior (da FC IV.1b)		113,84
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)		63,59
Renovação de Ar (da FC IV.1d)		119,96
		=
Coeficiente Global de Perdas	(W/°C)	486,95
		x
Graus - Dia no Local	(°C.dia)	1610
		x
		0,024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento	(kWh/ano)	18.815,69
		+
		kWh/ano
		-
Ganhos Totais Úteis	(kWh/ano) (da FC IV.1e)	3.765,67
		=
Necessidades de Aquecimento	(kWh/ano)	15050,02
		/
Área Útil de pavimento	(m²)	135,7
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	(kWh/m²,ano)	110,91
		<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b>	(kWh/m²,ano)	68,90

**Tabela B -28** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Folha de Cálculo FCV.1g**

**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N<sub>vc</sub>)**

Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2787,75	
Perdas térmicas totais	(FCV.1a)	5870.80	
Y		=	0.47
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0.98	
		=	
		0.02	
		X	
Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2787.75	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		65.49	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores			(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	65.49	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		135.70	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - N <sub>vc</sub>		0.48	
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - N <sub>v</sub>		16	

**Tabela B -29** Caso de estudo 2 (Fracção A)

**Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária (Nac)**

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	5	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, <b>M<sub>AQS</sub></b>	200	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, $\Delta T$	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, <b>n<sub>d</sub></b> (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, <b>Q<sub>a</sub></b>	3820.64	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, <b>h<sub>a</sub></b>	0.70	
	=	
	5458.05	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, <b>E<sub>solar</sub></b>		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, <b>E<sub>ren</sub></b>		
	=	
	5458,05	
	/	
Área útil de pavimento, <b>A<sub>p</sub></b>	135.70	(m <sup>2</sup> )
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	40.22	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	43.57	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

Tabela B -30 Caso de estudo 2 (Fracção A)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	110,91	(kWh/m².ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, $E_{solar}$		(kWh/m².ano)
	/	
Área útil de pavimento, $A_p$	135,70	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, $h$	100,00	(%)
	x	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	0,48	(kWh/m².ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, $h_v$	300,00	(%)
	x	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	40,22	(kWh/m².ano)
	x	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	14,89	(kgep/m².ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b>	6,65	(kgep/m².ano)
sabendo que:		
{ Necessidades nominais de aquec. máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	68,90	
{ Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b> (kWh/m².ano)	16,00	
{ Limite máximo das necessides para preparação da AQS, <b>Na</b> (kWh/m².ano)	43,57	
<b>CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO</b>	E	(Ntc/Nt = 2,24)

Edifício anos 80 – Fracção A (Rua Prof. Bento Jesus Caraça)

Tabela B -31 Caso de estudo 2 (Fracção B)

Folha de Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes exteriores	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Parede 1 - PE.1 - Este	11,02	1,09	12,01
Parede 2 - PE.1 - Oeste	19,22	1,09	20,95
Parede 3 - Ptp.1 - Este	1,17	2,56	3,00
Parede 4 - Ptp.1 - Oeste	1,82	2,56	4,66
Parede 5 - Ptp.2 - Este	1,28	3,08	3,94
Parede 6 - Ptp.2 - Oeste	0,88	3,08	2,71
		<b>Total</b>	<b>47,27</b>

Pavimentos exteriores	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
Pavimento 1 - PavE.1	10,77	2,17	23,37
		<b>Total</b>	<b>23,37</b>

Coberturas exteriores	Area (m <sup>2</sup> )	U <sub>ascendente</sub> (W/m <sup>2</sup> °C)	U.A (W/°C)
		<b>Total</b>	

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B(m)	Ψ (W/m <sup>2</sup> °C)	Ψ .B (W/°C)
		<b>Total</b>	

Pontes Térmicas lineares Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/m <sup>2</sup> °C)	Ψ .B (W/°C)
Ligação de fachada com v aranda	6,96	0,49	3,38
Ligação de fachada com c aixa de estore	8,60	1,00	8,60
Ligação de fachada comp adieira, ombreira ou peitoril	34,80	0,20	6,96
Ligação de fachada com Lna ou exteriores	12,62	0,50	6,31
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	19,58	0,50	9,79
Ligação de duas paredes verticais	7,80	0,50	3,90
		<b>Total</b>	<b>38,94</b>

Perdas pela envolvente exterior da Fracção Autónoma

(W/°C)

<b>Total</b>	<b>109,58</b>
--------------	---------------

Tabela B -32 Caso de estudo 2 (Fracção B)

Folha de Cálculo FCIV.1b

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Par. Int. 1 - Pl.1	6,5	1,33		
Par. Int. 2 - Pl.2	9,72	2,17	0,3	6,33
Par. Int. 3 - PE.1 Ina	3,52	0,99	0,8	2,79
Par. Int. 4 - Ptpi.1	2,29	2,08		
Par. Int. 5 - Ptpi.1	1,3	2,08		
Par. Int. 6 - Pl.1	35,37	1,33	0,6	28,23
Par. Int. 7 - Porta	1,80	2,56	0,3	1,38
Par. Int. 8 - Ptp.1 (Ina)	0,38	2,08	0,8	0,63
<b>Total</b>				<b>39,36</b>

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Pav. Int 1 - Pav Ina.1	66,19	1,2	0,6	47,66
Pav. Int 2 - Pav Ina.1	12,48	1,2	0,6	7,49
Pav. Int 3 - Pav Ina.1	46,26	1,2	0,6	33,31
<b>Total</b>				<b>88,45</b>

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
<b>Total</b>				

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A. τ (W/°C)
Env. Int. 1 - Env6	2,48	3,03	0,8	6,01
<b>Total</b>				<b>6,01</b>

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ > 0,7)	Comp. (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.B. τ (W/°C)
Ligação de fachada com varanda	2,31	0,45	0,8	0,83
Ligação de fachada com caixa de estore	1,50	1,00	0,80	1,20
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	7,20	0,20	0,80	1,15
Ligação de fachada com Ina ou exteriores	2,31	0,50	0,80	0,92
Ligação de fachada com pavimentos intermédios	2,31	0,50	0,80	0,92
<b>Total</b>				<b>5,03</b>

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**  
**Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:**  
 Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;  
 Edifícios anexos;  
 Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;  
 Sotãos não-habitados.

(W/°C) **TOTAL 138,85**

**Tabela B -33** Caso de estudo 2 (Fracção B)

Folha de Cálculo FCIV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

<b><i>Vãos envidraçados exteriores</i></b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>U.A (W/°C)</b>
<b><i>Verticais e Horizontais:</i></b>			
Env. 1 - Env1 - Este	1,95	4,10	8,00
Env. 2 - Env2 - Este	3,78	4,10	15,50
Env. 3 - Env3 - Este	3,78	4,10	15,50
Env. 4 - Env4 - Oeste	4,20	4,10	17,22
Env. 5 - Env5 - Oeste	1,80	4,10	7,38
		<b>Total</b>	<b>63,59</b>

**Tabela B -34** Caso de estudo 2 (Fracção B)

**Folha de Cálculo FCIV.1d**

**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de pavimento (Ap)	<input type="text" value="135,70"/>	(m2)
	x	
Pé-direito médio	<input type="text" value="2,60"/>	(m)
	=	
Volume interior (V)	<input type="text" value="352,82"/>	(m3)
Ventilação Natural ou Mecânica	<input type="text" value="Natural"/>	

**VENTILAÇÃO NATURAL**

Cumpr NP 1037-1?	(S ou N)	<input type="text" value="Não"/>	Se sim: RPH =	<input type="text" value="0,6"/>
<b>Se NÃO:</b>				
Classe da caixilharia	(S/C, 1, 2 ou 3)	<input type="text" value="S/C"/>	Taxa de Renovação nominal:	
Caixas de estore	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>	RPH=	<input type="text" value="1,00"/>
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Sim"/>		
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1, 2, 3 ou 4)	<input type="text" value="1"/>		
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>		
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)	<input type="text"/>		
Área de Envidraçados > 15% Ap ?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>	se Sim agrava 0,1	
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	<input type="text" value="Não"/>	Ver Quadro IV.1 Se Sim reduz 0,05 desde que Não cumpra NP1037-1	

<b>Volume</b>	<input type="text" value="352,82"/>	
	x	
Taxa de Renovação nominal	<input type="text" value="1,00"/>	
	x	
	<input type="text" value="0,34"/>	
	=	
	<input type="text" value="119,96"/>	(W/°C)



Tabela B -35 Caso de estudo 2 (Fracção B)

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
E	Simples	1,95	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,23
E	Simples	3,78	0,56	0,70	0,412	0,70	0,90	0,45
E	Simples	3,78	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,45
W	Simples	4,20	0,56	0,70	0,381	0,70	0,90	0,50
W	Simples	1,80	0,56	0,70	0,470	0,70	0,90	0,21

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

1,85

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

no  
na Zona  
I

Continente

2

(kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6,70

-

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

1150,73

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

Tipo de Edifício

Residencial

4

(W/m²)

x

Duração da Estação de Aquecimento

6,7

(meses)

x

Área Útil de pavimento

135,7

(m²)

x

0,72

(kWh/ano)

=

Ganhos Internos Brutos

2618,47

Ganhos Totais Úteis:

Y =  $\frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$

3769,19

18815,69

Inércia do edifício

Fonte

$\gamma =$

0,226

Factor de Utilização dos Ganhos Solares

( $\eta$ )

0,999

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

3769,19

-

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)

3763,56

**Tabela B -36** Caso de estudo 2 (Fracção B)

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m <sup>2</sup>
Paredes Exteriores	35,39
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	10,77
Envidraçados Exteriores	15,51
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A<sub>T</sub>)</i>	
Paredes Interiores	27,80
Coberturas Interiores	
Pavimentos Interiores	73,71
Envidraçados Interiores	1,98
<i>Área Total:</i>	165,16
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	352,82
	=
<b>FF</b>	0,47
Graus - Dia no Local (°C.dia)	1610
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².a)	68,10

**Tabela B -37** Caso de estudo 2 (Fracção B)

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

Perdas térmicas associadas a:		(W/°C)
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)		109,58
Envolvente Interior (da FC IV.1b)		138,85
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)		63,59
Renovação de Ar (da FC IV.1d)		119,96
		=
Coeficiente Global de Perdas	(W/°C)	431,98
		x
Graus-Dia no Local	(°C.dia)	1610
		x
		0.024
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento	(kWh/ano)	16.691,54
		+
		kWh/ano
		-
Ganhos Totais Úteis	kWh/ano (da FC IV.1e)	3.763,56
		=
Necessidades de Aquecimento	kWh/ano	12927,99
		/
Área Útil de pavimento	(m²)	135,7
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	(kWh/m², ano)	95,27
		<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b>	(kWh/m². ano)	68.10

**Tabela B -38** Caso de estudo 2 (Fracção B)

**Folha de Cálculo FCV.1g**

**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2787,75	
		/	
Perdas térmicas totais	(FCV.1a)	4465.60	
		=	
Y		0.62	
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η		0.94	
		=	
		0.06	
		X	
Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	2787.75	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		158.45	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores			(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	<b>TOTAL</b>	158.45	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m2)		135.70	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nac		1.17	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - Nv		16	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

**Tabela B -39** Caso de estudo 2 (Fracção B)

**Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária (Nac)**

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	5	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, <b>MAQS</b>	200	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, $\Delta T$	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, <b>nd</b> (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, <b>Qa</b>	3820,64	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, ha	0,70	
	=	
	5458,05	(KWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, <b>E<sub>solar</sub></b>		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, <b>E<sub>ren</sub></b>		
	=	
	5458,05	
	/	
Área útil de pavimento, <b>Ap</b>	135,70	(m2)
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	40,22	(kWh/m2.ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	43,57	(kWh/m2.ano)

**Tabela B -40** Caso de estudo 2 (Fracção B)

**Cálculo da Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)**

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	95,27	(kWh/m².ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, $E_{solar}$		(kWh/m².ano)
	/	
Área útil de pavimento, $A_p$	135,70	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, $h_1$	100,00%	(%)
	x	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)

	+	
	0,1	
	X	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	1,17	(kWh/m².ano)
	X	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00%	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, $h_v$	300,00%	(%)
	x	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)

	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	40,22	
	X	
Factor de conversão $F_{pu}$ entre energia útil e energia primária	0,290	
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	14,44	
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b> sabendo que:	6,64	
{	Necessidades nominais de aquec. máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	68,10
	Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b> (kWh/m².ano)	16,00
	Limite máximo das necessidades para preparação da AQS, <b>Na</b> (kWh/m².ano)	43,57
<b>CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO</b>	E	(Ntc/Nt=2,17)

Edifício anos 80 – Fracção B (Rua Prof. Bento Jesus Caraça)

Tabela B -41 Caso de estudo 2 (Fracção I)

## Folha de Cálculo FC IV.1b

## Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Par. Int. 1 - PE.1 (Ina)	19,31	1	0,8	15,45
Par. Int. 2 - PE.1 (Ina)	19,15	1	0,8	15,32
Par. Int. 3 - Pd.1 (Ina)	6,42	1,82	0,95	11,10
Par. Int. 4 - Pl.1	15,42	1,33	0,6	12,31
Par. Int. 5 - Pl.1	6,5	1,33		
Par. Int. 6 - Pl.2	9,72	2,17	0,3	6,33
Par. Int. 7 - Ppti.1	2,29	2,08		
Par. Int. 8 - Ptpi.1	1,3	2,08		
Par. Int. 9 - Porta acesso	1,8	2,56	0,3	1,38
Par. Int. 10 - Ptp.1 (Ina)	1,88	2,08	0,8	3,13
Total				65,01

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Total				

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Cob. Int. 1 - Pav. Ina.2 - Inclinação	79,63	2,13	0,8	135,69
Total				135,69

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> °C)	τ (-)	U.A.τ (W/°C)
Env. Int. 1 – Env7	1,95	3,03	0,8	4,73
Env. Int. 2 - Env8	3,15	3,03	0,8	7,64
Env. Int. 3 - Env9	3,15	3,03	0,8	7,64
Env. Int. 4 - Env10	3,15	3,03	0,8	7,64
Env. Int. 5 - Env11	2,48	3,03	0,8	6,01
Total				33,65

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com t > 0,7)	Comp. (m)	Ψ (W/m°C)	τ (-)	Ψ.B.τ (W/m°C)
Ligação de fachada com caixa de estore	7,50	1,00	0,8	6,00
Ligação de fachada com padieira, ombreira ou peitoril	34,40	0,20	0,8	5,50
Ligação de fachada com varanda	38,46	0,50	0,8	15,38
Ligação entre duas paredes verticais	5,20	0,50	0,8	2,08
Ligação de fachada com cobertura inclinada	52,34	0,50	0,8	20,94
Total				49,90

**Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma**  
**Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:**

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sótãos não - habitados.

(W/°C) TOTAL 284,25

**Tabela B -42** Caso de estudo 2 (Fracção I)

**Folha de Cálculo FC IV.1d**  
**Perdas associadas à Renovação de Ar**

Área Útil de pavimento (Ap)	79,63	(m2)
	x	
Pé-direito médio	2,80	(m)
	=	
Volume interior (V)	222,96	(m3)
Ventilação Natural ou Mecânica	Natural	

<b>VENTILAÇÃO NATURAL</b>			
Cumprir NP 1037-1?	(S ou N)	Não	Se SIM: RPH = 0.6
<b>Se NÃO:</b>			
Classe da caixilharia	(S/C, 1, 2 ou 3)	S/C	Taxa de Renovação nominal:
Caixas de estore	(Sim ou Não)	Sim	RPH = 1.00
Caixas de estore em todos os vãos	(Sim ou Não)	Sim	
Classe de exposição (Quadro IV.1)	(1,2,3 ou 4)	1	
Disp. de admissão de ar na Fachada?	(Sim ou Não)	Não	
Aberturas auto-reguladas?	(Sim ou Não)		
Área de Envidraçados > 15% Ap?	(Sim ou Não)	Não	Se Sim agrava 0.1
Portas exteriores bem vedadas?	(Sim ou Não)	Não	Ver Quadro IV.1 Se Sim reduz 0.05 desde que Não cumpra NP1037-1

Volume	222,96	
	x	
Taxa de Renovação nominal	1,00	
	x	
	0,34	
	=	
TOTAL	75,81	(W/°C)



**Tabela B -43** Caso de estudo 2 (Fracção I)

**Folha de Cálculo FC IV.1e**

**Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)**

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m2)
-				0,70				
-				0,70				
-				0,70				
-				0,70				
-				0,70				

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

no Continente

na Zona I

2

(kWh/m².mês) - do Quadro 8 (Anexo III)

93

x

Duração da Estação de Aquecimento

(meses)

6.70

-

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

Ganhos Internos:

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)

Tipo de Edifício

Residencial

4

(W/m2)

x

Duração da Estação de Aquecimento

6.7

(meses)

x

Área Útil de pavimento

79.63

(m2)

x

0.72

(kWh/ano)

=

Ganhos Internos Brutos

1536.54

Ganhos Totais Úteis:

$$Y = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}} = \frac{1536.54}{13912.665}$$

Inércia do edifício

Fonte

$\gamma = 0.110$

Factor de Utilização dos Ganhos Solares ( $\eta$ )

1.000

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

1536.54

-

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)

1536.54

**Tabela B -44** Caso de estudo 2 (Fracção I)

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

**FACTOR DE FORMA**

<i>Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)</i>	m <sup>2</sup>
Paredes Exteriores	
Coberturas Exteriores	
Pavimentos Exteriores	
Envidraçados Exteriores	
<i>Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. □ )</i>	
Paredes Interiores	51,08
Coberturas Interiores	63,70
Pavimentos Interiores	
Envidraçados Interiores	11,10
<i>Área Total:</i>	125,89
	/
<i>Volume (da FC IV.1d):</i>	222,96
	=
<b>FF</b>	0,56
Graus - Dia no Local (°C.dia)	1610
Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF < 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF < 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m².ano)	71,94

**Tabela B -45** Caso de estudo 2 (Fracção I)

**Folha de Cálculo FC IV.2**  
**Cálculo do Indicador Nic**

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)	
Envolvente Exterior (da FC IV.1a)		
Envolvente Interior (da FC IV.1b)		284,25
Vãos Envidraçados (da FC IV.1c)		
Renovação de Ar (da FC IV.1d)		75,81
		=
Coefficiente Global de Perdas	(W/°C)	360,06
		x
Graus - Dia no Local	(°C.dia)	1610
		x
		<b>0,024</b>
		=
Necessidades Brutas de Aquecimento	(kWh/ano)	13,912,65
		+
Consumo dos ventiladores	(kWh/ano)	
		-
Ganhos Totais Úteis	(kWh/ano) (da FC IV.1e)	1,536,41
		=
Necessidades de Aquecimento	(kWh/ano)	12376,24
		/
Área Útil de pavimento	(m²)	79,63
		=
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	(kWh/m²,ano)	<b>155,42</b>
		<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - <b>Ni</b>	(kWh/m²,ano)	71.94

**Tabela B -46** Caso de estudo 2 (Fracção I)

**Folha de Cálculo FCV.1g**

**Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)**

Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	932,63	
		/	
Perdas térmicas totais	(FCV.1a)	1331,79	
		=	
Y		0,70	
Inércia do edifício		Forte	
		1	
		-	
Factor de utilização dos ganhos solares, •		0.92	
		=	
		0,08	
		X	
Ganhos térmicos totais	(FCV.1f)	832,63	(kWh)
		=	
Necessidades brutas de arrefecimento		74,24	(kWh/ano)
		+	
Consumo dos ventiladores			(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
(se houver, exaustor da cozinha excluído)		=	
	TOTAL	74,24	(kWh/ano)
		/	
Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> )		79,63	
		=	
Necessidades nominais de arrefecimento - N <sub>vc</sub>		0,93	
		≤	
Necessidades nominais de arref. máximas - N <sub>v</sub>		16	

**Tabela B -47** Caso de estudo 2 (Fracção I)

**Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária (Nac)**

	40	(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)	4	
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, <b>M<sub>AQS</sub></b>	160	(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, <b>ΔT</b>	45	(°C)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, <b>n<sub>d</sub></b> (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, <b>Q<sub>a</sub></b>	3056,64	
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, <b>h<sub>a</sub></b>	0,70	
	=	
	4366,44	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, <b>E<sub>solar</sub></b>		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, <b>E<sub>ren</sub></b>		
	=	
	4366,44	
	/	
Área útil de pavimento, <b>A<sub>p</sub></b>	79,63	(m <sup>2</sup> )
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	54,83	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, <b>Na</b>	59,40	(kWh/m <sup>2</sup> .ano)

**Tabela B -48** Caso de estudo 2 (Fracção I)

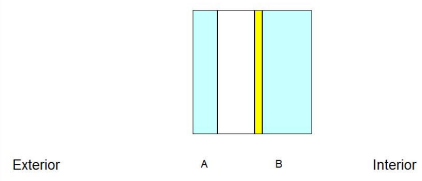
**Cálculo da Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)**

	0,1	
	x	
	(	
Nec. Nominais de Aquecimento - <b>Nic</b>	155.42	(kWh/m².ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para aquecimento ambiente, <b>E<sub>solar</sub></b>		(kWh/m².ano)
	/	
Área útil de pavimento, <b>Ap</b>	79.63	
	)	
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de aquecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de aquecimento, <b>hi</b>	100,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
	0,1	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - <b>Nvc</b>	0,93	(kWh/m².ano)
	x	
% das necessidades satisfeita pelo 1.º sistema de arrefecimento	100,00	(%)
	/	
Eficiência de conversão do 1.º sistema de arrefecimento, <b>hv</b>	300,00	(%)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, <b>Nac</b>	54.83	(kWh/m².ano)
	x	
Factor de conversão Fpu entre energia útil e energia primária	0,290	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, <b>Ntc</b>	20.42	(kgep/m².ano)
	•	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, <b>Nt</b>	8.81	(kgep/m².ano)
sabendo que:		
{ Necessidades nominais de aquec. máximas - <b>Ni</b> (kWh/m².ano)	71.94	
{ Necessidades nominais de arref. máximas - <b>Nv</b> (kWh/m².ano)	16,00	
{ Limite máximo das necessidades para preparação da AQS, <b>Na</b> (kWh/m².ano)	59.40	
<b>CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO</b>	E	(Ntc/Nt = 2,32)

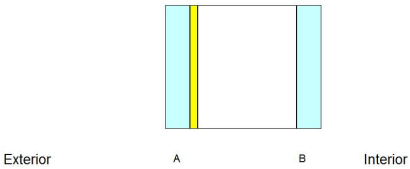
Edifício anos 80 – Fracção I (Rua Prof. Bento Jesus Caraça)

## Anexo C | Tabelas – Calumen

**Tabela C -1** Caracterização dos vidros | **N1e** – aumento do número de vidros

<u>Composição do vidro</u>		A-Primeiro vidro	B-Segundo vidro	C-Terceiro vidro
 <p>Exterior                      A                      B                      Interior</p>	enchimento da câ		Ar 6 mm	
	Capa		PLANITHERM ONE	
	Primeiro vidro	PLANILUX 4.0 mm	PLANILUX 8.0 mm	
	Capa			
	Intercalar			
	Segundo vidro			
	Capa			
<u>Dimensões de fabrico</u>				
Espessura nominal:		18.0	mm	
Peso :		30.0	kg/m²	
<u>Factor UV</u>				
Transmissão:		23	%	
<u>Factores luminosos</u>				
Transmissão:		69	%	
Reflexão exterior:		22	%	
Reflexão interior:		21	%	
<u>Factores de energia EN 410</u>				
Transmissão:		41	%	
Reflexão exterior:		36	%	
Absorção A1 :		14	%	
Absorção A2 :		9	%	
Factor solar g :		0.48		
Coeficiente de sombreamento SC :		0.56		
<u>Transmissão térmica</u>				
Ug :		2.4	W/(m².K)	

**Tabela C -2** Caracterização dos vidros | **N2e** – substituição do vidro existente por um vidro isolante duplo

<b>Composição do vidro</b>		A-Primeiro vidro	B-Segundo vidro	C-Terceiro vidro
	enchimento da câ		Argon 85% 16 mm	
	Capa			
	Primeiro vidro	PLANILUX 4.0 mm	PLANILUX 4.0 mm	
	Capa	PLANITHERM ONE		
	Intercalar			
	Segundo vidro			
	Capa			

<b>Dimensões de fabrico</b>	
Espessura nominal:	24.0 mm
Peso :	20.0 kg/m²

<b>Factor UV</b>	
Transmissão:	26 %

<b>Factores luminosos</b>	
Transmissão:	71 %
Reflexão exterior:	22 %
Reflexão interior:	22 %

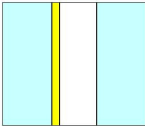
<b>Factores de energia EN 410</b>	
Transmissão:	44 %
Reflexão exterior:	37 %
Absorção A1 :	16 %
Absorção A2 :	3 %
Factor solar g :	0.47
Coefficiente de sombreamento SC :	0.54

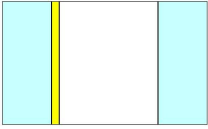
<b>Transmissão térmica</b>	
Ug :	1.1 W/(m².K)



**Tabela C -3** Caracterização dos vidros | **N3e** – substituição da caixilharia existente – lâmina de ar

<div>Composição do vidro</div> <div></div> <div>Exterior<div>A</div><div>B</div>Interior</div>			A-Primeiro vidro	B-Segundo vidro	C-Terceiro vidro
		enchimento da câ		Ar 6 mm	
		Capa			
		Primeiro vidro	PLANILUX 8.0 mm	PLANILUX 8.0 mm	
		Capa	PLANITHERM ONE		
		Intercalar			
		Segundo vidro			
		Capa			
<div>Dimensões de fabrico</div> <div><div>Espessura nominal:</div><div>22.0 mm</div></div> <div><div>Peso :</div><div>40.0 kg/m²</div></div>					
<div>Factor UV</div> <div><div>Transmissão:</div><div>20 %</div></div>					
<div>Factores luminosos</div> <div><div>Transmissão:</div><div>68 %</div></div> <div><div>Reflexão exterior:</div><div>21 %</div></div> <div><div>Reflexão interior:</div><div>21 %</div></div>					
<div>Factores de energia EN 410</div> <div><div>Transmissão:</div><div>38 %</div></div> <div><div>Reflexão exterior:</div><div>30 %</div></div> <div><div>Absorção A1 :</div><div>26 %</div></div> <div><div>Absorção A2 :</div><div>5 %</div></div> <div><div>Factor solar g :</div><div>0.45</div></div> <div><div>Coeficiente de sombreamento SC :</div><div>0.52</div></div>					
<div>Transmissão térmica</div> <div><div>Ug :</div><div>2.4 W/(m².K)</div></div>					

**Tabela C -4** Caracterização dos vidros | **N4e** – substituição da caixilharia existente – lâmina de Argón

<u>Composição do vidro</u>		A-Primeiro vidro	B-Segundo vidro	C-Terceiro vidro
 <p>Exterior      A      B      Interior</p>	enchimento da câ		Argon 85% 16 mm	
	Capa			
	Primeiro vidro	PLANILUX 8.0 mm	PLANILUX 8.0 mm	
	Capa	PLANITHERM ONE		
	Intercalar			
	Segundo vidro			
	Capa			

<u>Dimensões de fabrico</u>	
Espessura nominal:	32.0 mm
Peso :	40.0 kg/m²

<u>Factor UV</u>	
Transmissão:	20 %

<u>Factores luminosos</u>	
Transmissão:	68 %
Reflexão exterior:	21 %
Reflexão interior:	21 %

<u>Factores de energia EN 410</u>	
Transmissão:	38 %
Reflexão exterior:	30 %
Absorção A1 :	26 %
Absorção A2 :	5 %
Factor solar g :	0.44
Coefficiente de sombreamento SC :	0.51

<u>Transmissão térmica</u>	
Ug :	1.1 W/(m².K)

Anexo D | Tabelas – Análise Económica

Tabela D -1 Quantificação dos consumos de energia e índices de economia de cada solução de reabilitação energética proposta – Caso de estudo 1 (edifício anos 40)

Elemento _estado actual	Área	Coefficiente U _actual	Área x U x τ	Índice	Elemento _proposto	Níveis de Qualidade	Coefficiente U _proposto	Área x U x τ	Economia (kWh)	Índice de economia
Zona Corrente Exterior										
Descrição:										
PE:1 Parede exterior alvenaria de granito	212,46	3,33	707,49	100 %	Isolam. térmico _ exterior (EPS) 40mm	N1	0,72	152,97	554,52	78,37%
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 60mm	N2	0,52	110,47	597,02	84,38 %
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 80mm	N3	0,40	84,98	612,51	86,57 %
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 100mm	N4	0,33	70,11	637,38	90,09 %
Ptp.1 Ponte térmica plana_ caixa de estore	13,66	3,41	46,58	100 %	Isolam. térmico _ exterior (EPS) 40mm	N1	0,73	34,00	12,58	27,00 %
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 60mm	N2	0,52	24,22	22,36	48,00 %
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 80mm	N3	0,41	19,09	27,29	58,58 %
					Isolam. térmico _ exterior (EPS) 100mm	N4	0,33	15,37	31,21	67,00 %
Zona Corrente Interior										
Descrição:										
Pav Ina.1 Pavimento de laje aligeirada_bloco cerâmico. Revestida a taco de madeira	63,14	1,35	42,61	100 %	Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 40mm	N1	0,55	17,36	25,25	59,25 %
					Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 50mm	N2	0,48	15,15	27,46	64,44 %
					Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 60mm	N3	0,42	13,25	29,36	68,90 %
					Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 80mm	N4	0,29	9,15	33,46	78,52 %
Pav Ina.2 Pavimento de laje aligeirada_bloco cerâmico.	133,80	2,70	361,26	100 %	Isolam. térmico sobre a laje de tecto (EPS) 80mm	N3	0,39	52,18	309,08	85,55 %
					Isolam. térmico sobre a laje de tecto (EPS) 100mm	N4	0,32	42,81	318,45	88,14 %
Vãos Envidraçados										
Descrição:										
Caixilharia de madeira Vidro simples incolor de 4mm Estore - Dispositivo de oclusão nocturna	51,18	3,40	174,01	100 %	Manter -aumento do número de vidros 4+6 +4planitherm (f(s=0,49)	N1e	2,50	127,95	46,06	26,46 %
					Manter -substituição de vidro 4 planitherm +16 argón+4 (f(s=0,49)	N2e	2,00	102,36	71,65	41,17 %
					Substituir _ vidros 6 planitherm +6 +8 (f(s=0,54)	N3e	2,70	138,18	35,83	20,59 %
					Substituir - vidros 6 planitherm +16 argón+8 (f(s=0,44)	N4e	2,30	117,71	56,30	32,35 %

Tabela D -2 Quantificação dos consumos de energia e índices de economia de cada solução de reabilitação energética proposta – Caso de estudo 2 (edifício anos 80)

Elemento _estado actual	Área	Coefficiente U _actual	Área x U x x	Índice	Elemento _proposto	Nível de Qualidade	Coefficiente U _proposto	Área x U x x	Economia (MWh)	Índice de economia
Zona Centro Exterior										
Laje 11										
RE-1 Parede dupla exterior Tubo condutiva 11+11	314,38	1,02	320,30	100 %	Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 40mm	N1	0,83	167,48	188,53	54,04 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N2	0,86	152,88	220,87	31,22 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N3	0,83	152,88	220,87	31,22 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 100mm	N4	0,89	88,19	236,12	74,31 %
Zona Centro Interior										
Pared. 1 Parede térmica plana exterior										
Pared. 1 Parede térmica plana exterior Laje algarveada bloco condutiva	20,70	2,56	53,19	100 %	Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 40mm	N1	0,68	14,13	32,85	73,43 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N2	0,80	10,36	42,82	89,40 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N3	0,84	6,10	45,06	84,77 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 100mm	N4	0,83	0,85	48,34	97,12 %
Pared. 2 Parede térmica plana exterior										
Pared. 2 Parede térmica plana exterior Laje algarveada bloco condutiva	17,39	3,08	53,22	100 %	Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 40mm	N1	0,71	12,23	40,86	76,96 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N2	0,81	0,91	44,41	83,44 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N3	0,40	0,91	46,31	87,01 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 100mm	N4	0,83	6,73	47,82	89,28 %
Pared. 3 Parede térmica plana exterior										
Pared. 3 Parede térmica plana exterior Laje algarveada bloco condutiva	58,48	2,17	126,72	100 %	Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 40mm	N1	0,83	87,38	88,78	70,04 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N2	0,48	28,03	86,02	77,88 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 80mm	N3	0,83	22,18	124,53	82,88 %
					Isolam. térmico pelo exterior (EPG) 100mm	N4	0,82	13,48	126,04	86,25 %
Zona Centro Interior										
Laje 12										
RE-2 Parede traseira - sala do elevador Paredes em lajeado armado	317,40	2,17	689,51	100 %	Isolam. térmico pelo exterior polaresado projetado (P.L.P.) 80 mm	N1	1,06	27,81	97,11	51,15 %
					Isolam. térmico pelo interior polaresado projetado (P.L.P.) 80 mm	N2	0,85	22,30	118,49	80,83 %
					Isolam. térmico pelo interior polaresado projetado (P.L.P.) 80 mm	N3	0,71	18,65	127,72	87,28 %
					Isolam. térmico pelo interior polaresado projetado (P.L.P.) 40 mm					
Zona Centro Interior										
Laje 13										
RE-3 Parede traseira bloco algarveada bloco condutiva Laje algarveada bloco condutiva	212,00	1,20	153,58	100 %	Isolam. térmico solo a laje do pavimento + placa de isolamento (EPG) 40mm	N1	0,51	65,17	88,19	57,50 %
					Isolam. térmico solo a laje do pavimento + placa de isolamento (EPG) 80mm	N2	0,45	57,51	85,85	52,50 %
					Isolam. térmico solo a laje do pavimento + placa de isolamento (EPG) 80mm	N3	0,40	51,15	102,24	86,66 %
					Isolam. térmico solo a laje do pavimento + placa de isolamento (EPG) 80mm					
Zona Centro Interior										
Laje 14										
RE-4 Parede traseira bloco algarveada bloco condutiva	709,28	2,13	1509,85	100 %	Isolam. térmico solo a laje do bloco (EPG) 80mm	N1	0,88	24,20	111,48	82,16 %
					Isolam. térmico solo a laje do bloco (EPG) 80mm	N2	0,81	13,74	118,54	85,45 %
					Isolam. térmico solo a laje do bloco (EPG) 80mm	N3	0,81	13,74	118,54	85,45 %
					Isolam. térmico solo a laje do bloco (EPG) 80mm	N4	0,81	13,74	118,54	85,45 %

**Tabela D -3** Quantificação dos consumos de energia e índices de economia de cada solução de reabilitação energética proposta – Caso de estudo 2 (edifício anos 80)

Elemento _estado actual	Área	Coefficiente U _actual	Área x U x $\tau$	Índice	Elemento_proposto	Níveis de Qualidade	Coefficiente U _proposto	Área x U x $\tau$	Economia (kWh)	Índice de economia
Vãos Envidraçados										
Descrição:										
Caixilharia de alumínio Vidro simples incolor de 4mm Estore - Dispositivo de oclusão nocturna	157,80	4,10	646,98	100 %	Manter caixilharia-aumento do número de vidros 4+6 +4planitherm (f.s=0,49)	N1e	3,10	489,18	157,80	24,39 %
					Manter caixilharia-substituição de vidro 4 planitherm + 16 argón+4 (f.s=0,49)	N2e	2,70	426,06	220,92	34,14 %
					Substituir caixilharia_ vidros 6 planitherm +6 +8 (f.s=0,54)	N3e	2,70	426,06	220,92	34,14 %
					Substituir caixilharia- vidros 6 planitherm + 16 argón+8 (f.s=0,44)	N4e	2,30	362,94	284,04	43,90 %

**Tabela D -4** Quantificação dos custos do investimento inicial de energia e índices de economia de cada solução de reabilitação energética proposta – Caso de estudo 1 (edifício anos 40)

Elemento_estado actual	Área	Elemento_proposto	Níveis de Qualidade	Coefficiente U_proposto	Área x U x τ	Economia (kWh)	€ m²	€ m²x A
Zona Corrente Exterior								
Descrição:								
PE.1 Parede exterior alvenaria de granito	212,46	Isolam. térmico_exterior (EPS) 40mm	N1	0,72	152,97	554,52	34,80	7393,60
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 60mm	N2	0,52	110,47	597,02	37,20	7903,51
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 80mm	N3	0,40	84,98	612,51	39,60	8413,41
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 100mm	N4	0,33	70,11	637,38	42,00	8923,32
Ptp.1 Ponte térmica plana_caixa de estore								
13,66		Isolam. térmico_exterior (EPS) 40mm	N1	0,73	34,00	12,58	34,80	475,36
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 60mm	N2	0,52	24,22	22,36	37,20	508,15
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 80mm	N3	0,41	19,09	27,29	39,60	540,93
		Isolam. térmico_exterior (EPS) 100mm	N4	0,33	15,37	31,21	42,00	573,72
Zona Corrente Interior								
Descrição:								
Pav_Ina.1 Pavimento de laje aligeirada_bloco cerâmico. Revestida a taco de madeira	63,14	Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 40mm	N1	0,55	17,36	25,25	6,95	438,82
		Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 50mm	N2	0,48	15,15	27,46	8,10	511,43
		Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 60mm	N3	0,42	13,25	29,36	10,80	681,91
		Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 80mm	N4	0,29	9,15	33,46	12,35	779,77
Pav_Ina.2								
Pavimento de laje aligeirada_bloco	133,80	Isolam. térmico sobre a laje de tecto (EPS) 80mm	N3	0,39	52,18	309,08	6,90	923,22
		Isolam. térmico sobre a laje de tecto (EPS) 100mm	N4	0,32	42,81	318,45	9,20	1230,96
Vãos Envidraçados								
Descrição:								
Caixilharia de madeira Vidro simples incolor de 4mm Estore - Dispositivo de oclusão nocturna	51,18	Manter -aumento do número de vidros 4+6 +4planitherm (f(s=0,49)	N1e	2,50	127,95	46,06	72,00	3684,96
		Manter -substituição de vidro 4 planitherm +16 argón+4 (f(s=0,49)	N2e	2,00	102,36	71,65	91,30	4672,73
		Substituir _ vidros 6 planitherm+6+8 (f(s=0,54)	N3e	2,70	138,18	35,83	300,00	15354,00
		Substituir - vidros 6 planitherm +16 argón+8 (f(s=0,44)	N4e	2,30	117,71	56,30	306,00	15661,08

**Tabela D -5** Custo e economia de energia da energia da aplicação dos diversos níveis de qualidade – edifício anos 80

Elemento_estado actual	Área	Elemento_proposto	Níveis de Qualidade	Coefficiente U_proposto	Área x U x τ	Economia (kWh)	€ m <sup>2</sup>	€ m <sup>2</sup> x A
<b>Zona Corrente Exterior</b>								
<b>Descrição:</b>								
PE: 1 Parede dupla exterior Tijolo cerâmico 11+11	314,96	Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 40mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 60mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 80mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 100mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 40mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 60mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 80mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 100mm	N1 N2 N3 N4 N1 N2 N3 N4	0,50 0,39 0,33 0,28 0,68 0,50 0,39 0,33	157,48 122,83 103,93 88,18 14,13 10,39 8,10 6,85	185,52 220,47 239,37 255,12 39,06 42,80 45,09 46,34	34,80 37,20 39,60 42,00 34,80 37,20 39,60 42,00	10960,60 11716,51 12472,41 13228,32 723,14 773,01 822,88 872,76
Ptp. 2 Ponte térmica plana_pilar/viga inserida na zona corrente Betão armado	17,28	Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 40mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 60mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 80mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 100mm	N1 N2 N3 N4	0,71 0,51 0,40 0,33	12,26 8,81 6,91 5,70	40,96 44,41 46,31 47,52	34,80 37,20 39,60 42,00	601,34 642,81 684,28 725,76
PavE. 1 Pavimento exterior Laje aligeirada_bloco cerâmico	58,40	Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 40mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 60mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 80mm Isolam. térmico pelo exterior (EPS) 100mm	N1 N2 N3 N4	0,65 0,48 0,38 0,32	37,96 28,03 22,19 18,68	88,76 98,69 104,53 108,04	34,80 37,20 39,60 42,00	2032,32 2172,48 2312,64 2452,80
<b>Zona Corrente Interior</b>								
<b>Descrição:</b>								
Pl.2_ Parede interior – caixa do elevador Parede em betão armado	87,48	Isolam. térmico pelo interior poliuretano projectado (PUR) 20 mm Isolam. térmico pelo interior poliuretano projectado (PUR) 30 mm Isolam. térmico pelo interior poliuretano projectado (PUR) 40 mm	N1 N2 N3	1,06 0,85 0,71	27,81 22,30 18,63	97,11 115,48 127,72	5,00 5,35 6,00	437,40 468,01 524,88
Pav. Ina.1 Pavimento de laje aligeirada_bloco cerâmico. Revestida a taco de madeira	213,00	Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 40mm Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 50mm Isolam. térmico sob a laje de pavimento + placa de gesso cartonado (EPS) 60mm Isolamento térmico sobre a laje de tecto (EPS) 80mm Isolamento térmico sobre a laje de tecto (EPS) 100mm	N1 N2 N3 N3 N4	0,51 0,45 0,40 0,38 0,31	65,17 57,51 51,12 24,20 19,74	88,19 95,85 102,24 111,48 115,94	6,95 8,10 10,80 6,90 9,20	1480,35 1725,30 2300,40 549,44 732,59

**Tabela D -6** Custo e economia de energia da energia da aplicação dos diversos níveis de qualidade – edifício anos 80

Elemento _estado actual	Área	Elemento _proposto	Níveis de Qualidade	Coefficiente U _proposto	Área x U x $\tau$	Economia (kWh)	€ m <sup>2</sup>	€ m <sup>2</sup> x A
Vãos Envidraçados								
Descrição: Caixilharia de alumínio Vidro simples incolor de 4mm Estore - Dispositivo de oclusão nocturna	157,80	Manter caixilharia-aumento do número de vidros 4 + 6 + 4planitherm (f s=0,49)	N1e	3,10	489,18	157,80	72,00	11361,60
		Manter caixilharia-substituição de vidro 4 planitherm + 16 argón+4 (f s=0,49)	N2e	2,70	426,06	220,92	91,30	14407,14
		Substituir caixilharia _ vidros 6 planitherm + 6 + 8 (f s=0,54)	N3e	2,70	426,06	220,92	300,00	47340,00
		Substituir caixilharia- vidros 6 planitherm + 16 argón+ 8 (f s=0,44)	N4e	2,30	362,94	284,04	306,00	48286,80